



# **Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática**

**Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas**

## **Desarrollo de una solución tecnológica para la medición del área de un predio utilizando un Dron y procesamiento de imágenes en el proceso de fiscalización**

### **TESIS**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas

### **AUTORES**

Jorge Luis DE LA CRUZ ESPINOZA

Gian Carlos HUACHIN SAIRITUPAC

### **ASESOR**

Jorge Leoncio GUERRA GUERRA

Lima, Perú

2018



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

De la Cruz, Jorge. & Huachin, Gian. (2018). *Desarrollo de una solución tecnológica para la medición del área de un predio utilizando un Dron y procesamiento de imágenes en el proceso de fiscalización*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Sistemas. Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

---

## HOJA DE METADATOS COMPLEMENTARIOS

CODIGO ORCID DEL AUTOR: <https://orcid.org/0000-0002-1353-7873>

CODIGO ORCID DEL ASESOR: <https://orcid.org/0000-0003-2392-7821>

DNI DEL AUTOR: 47658602

GRUPO DE INVESTIGACIÓN: Grupo de Investigación de Internet de las Cosas

INSTITUCIÓN QUE FINANCIA PARCIAL O TOTALMENTE LA INVESTIGACIÓN: Grupo de Investigación de Internet de las Cosas.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DONDE SE DESARROLLO LA INVESTIGACIÓN.

DEBE INCLUIR LOCALIDADES Y CORRDENADAS GEOGRÁFICAS:

Facultad de Ingenieria de Sistemas e Informática (-12.053177, -77.085652)

Comentado [j1]:

AÑO O RANGO DE AÑOS QUE LA INVESTIGACIÓN ABARCO: 2015 - 2017



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
**FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INFORMATICA**  
**Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Sistemas**

**Acta de Sustentación de Tesis**

Siendo las...18:26...horas del día...12...de enero del año 2018, se reunieron los docentes designados como miembros de Jurado de Tesis, presidido por el Ing. Víctor H. Bustamante Olivera (Presidente), el Ing. Raúl M. Armas calderón (Miembro) y el Ing. Jorge L. Guerra Guerra (Miembro Asesor) para la sustentación de la Tesis Intitulada: **“DESARROLLO DE UNA SOLUCIÓN TECNOLÓGICA PARA LA MEDICIÓN DEL ÁREA DE UN PREDIO UTILIZANDO UN DRON Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES EN EL PROCESO DE FISCALIZACIÓN.”**. Presentada por el Bachiller: **GIAN CARLOS HUACHIN SAIRITUPAC** para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas.

Acto seguido de la exposición de la Tesis, el Presidente invitó al Bachiller a dar las respuestas a las preguntas establecidas por los Miembros del Jurado.

El Bachiller en el curso de sus intervenciones demostró pleno dominio del tema, al responder con acierto y fluidez a las observaciones y preguntas formuladas por los señores miembros del Jurado.


Finalmente habiéndose efectuado la calificación correspondiente por los miembros del Jurado, el bachiller obtuvo la nota de...Dieciséis... (En letras).....16.....

A continuación el Presidente del Jurado el Ing. Víctor Hugo Bustamante Olivera, declara al Bachiller **Ingeniero de Sistemas**.

Siendo las...19:08...horas, se levantó la sesión.

  
.....  
Presidente  
Ing. Víctor Hugo Bustamante Olivera

  
.....  
Miembro  
Ing. Raúl Marcelo Armas Calderón

  
.....  
Miembro Asesor  
Ing. Jorge Leoncio Guerra Guerra

“Tesis presentada a la Universidad Nacional  
mayor de San Marcos, Lima, Perú, para obtener  
el Título de Ingeniero de Sistemas”

© Gian Huachin, Jorge De La Cruz, 2018.

Todos los derechos reservados.

#### DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a nuestras familias  
y en especial a nuestras madres.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primera instancia agradecemos a Dios por bendecirme hasta donde hemos llegado y por ser un pilar fundamental para la realización de este sueño anhelado.

A nuestros docentes y a nuestras respectivas familias por su constante apoyo y dedicación para poder convertirnos en los profesionales que siempre hemos deseado ser.



## **RESUMEN**

Actualmente la municipalidad de Villa Maria del Triunfo, realiza sus procesos de fiscalización predial de manera manual, recolectando datos necesarios que implica dirigirse a los predios; Y uno de los principales datos que necesitan es el área del predio. Al momento de recolectar este dato lo realizan de manera empírica es decir calculando mentalmente cuanto podría ser y dándole un valor, y en algunas ocasiones usan una cinta métrica para realizar la medición siendo muchas veces complicada cuando el dueño del predio no se encuentra. En estos últimos años se ha implementado el uso de los drones en diversas aplicaciones como el transporte, fotografía, seguridad y entre otros. Una de sus principales ventajas es que puede ser controlado remotamente y acceder a lugares de difícil acceso para las personas, pero además de esto se le puede incorporar una gran gama de sensores, una de ellas es el sensor de altura con la cual podemos calibrar y procesar imágenes a una determinada distancia del suelo ya que también se puede adherir una cámara. Se presenta como alternativa de solución un sistema que reciba la altura e imágenes de un dron tomadas sobre el predio a medir para el cálculo del área que requiere el fiscalizador mediante el procesamiento de imágenes.

Para el desarrollo e implementación de la solución tecnológica se utilizan tecnologías Open Source tanto para la obtención de la información y su procesamiento, estas tecnologías serán descritas a mayor detalle en el marco teórico.

Palabras Claves: Predio, Dron, Procesamiento de Imágenes y Open Source

## **ABSTRACT**

At the moment the municipality of “Villa Maria del Triunfo”, does its processes of property control by manual way, collecting necessary data that implies to go to the premises; And one of the main data they need is the area of the property. At the time of collecting this data they do it by an empirical way, in other words, mentally calculating what could be and giving it a value, and sometimes they use a tape measure to make the measurement being many times complicated when the owner of the property is not found. In recent years has been implemented the use of drones in various applications for transport, photography, security and others. One of its main advantages is that it can be controlled remotely and access places that is difficult to access for people, but in addition to this can be incorporated a wide range of sensors, one of them the height sensor with which it can be used perfectly Principles of photogrammetry since it can also adhere a camera. It presents as an alternative solution a system that receives the height and images of a drone taken on the site to be measured for the calculation of the area required by the inspector based on early photogrammetry.

For the development and implementation of the technological solution, Open Source technologies are used in order to obtain the information and its processing, these technologies will be described in greater detail in the theoretical framework.

Keywords: Land Property, Drone, Photogrammetry and Open Source

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>XII</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Antecedentes</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Definición del problema</b>	<b>14</b>
<b>1.3 Justificación</b>	<b>14</b>
<b>1.4 Objetivos</b>	<b>14</b>
1.4.1 Objetivo principal	14
1.4.2 Objetivos secundarios	15
<b>1.5 Propuesta de la tesis</b>	<b>15</b>
<b>1.6 Presentación del resto de la tesis</b>	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Dron</b>	<b>17</b>
2.1.1 Cuadricóptero	18
<b>2.2 Arduino</b>	<b>21</b>
2.2.1 Hardware	21
2.2.2 Software	22
<b>2.3 Procesamiento digital de imágenes</b>	<b>22</b>
2.3.1 Conceptos generales	23
2.3.2 OPENCV	26
<b>2.4 Telemetría</b>	<b>27</b>
2.4.1 Sistema de telemetría	28
<b>CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE</b>	<b>30</b>
<b>3.1 Trabajos previos realizados para la medición de área superficial</b>	<b>30</b>
3.1.1 Método del GPS	30
3.1.2 Casos de estudio del Método GPS	31
3.1.3 Método de Imágenes Satelitales	35
3.1.4 Casos de estudio del Método de Imágenes Satelitales.	36
3.1.5 Método de procesamiento de imágenes	38

3.1.6	Casos de estudio del Método de Procesamiento de Imágenes.	39
<b>3.2</b>	<b>Criterios de comparación entre metodologías</b>	<b>41</b>
3.2.1	Costo	41
3.2.2	Tiempo	42
3.2.3	Precisión	42
3.2.4	Tipo de tecnología	43
3.2.5	Datos recolectados en campo	43
<b>3.3</b>	<b>Cuadro comparativo entre metodologías y resultados.</b>	<b>43</b>
<b>3.4</b>	<b>Revisión de vehículos aéreos no tripulados</b>	<b>44</b>
3.4.1	AR Drone 1 para el campo de agricultura de precisión.	44
3.4.2	Vulcan Hexacopter para la investigación de fotogrametría con drones	46
3.4.3	XL Hexacópter para el monitoreo de canales de río – calibración y comparación con la tecnología Lidar	47
3.4.4	Conclusiones	48
<b>3.5</b>	<b>Revisión de casos de estudio de telemetría</b>	<b>49</b>
3.5.1	Telemetría con Arduino y Shield 3G-GPS	49
3.5.2	Sistema de seguridad vehicular	49
3.5.3	Uso de telemetría con drones	50
<b>3.6</b>	<b>Revisión de casos de estudio de procesamiento de imágenes</b>	<b>51</b>
3.6.1	Visión artificial en tiempo real para seguimiento de vehículos utilizando OpenCV.	51
3.6.2	Visión artificial implementado en una laptop para imágenes aéreas captadas desde un dron.	52
<b>CAPÍTULO 4:</b>	<b>APORTE TEÓRICO</b>	<b>54</b>
<b>4.1</b>	<b>Esquema general de la solución</b>	<b>54</b>
4.1.1	Proceso de obtención de datos	54
4.1.2	Proceso de envío de datos	56
4.1.3	Proceso de recepción de datos	57
4.1.4	Proceso de cálculo de área	58
<b>4.2</b>	<b>Selección de las herramientas tecnológicas</b>	<b>59</b>
4.2.1	Herramientas de hardware	60
4.2.2	Herramientas de Software	66
<b>4.3</b>	<b>Aplicación de la herramienta tecnológica al problema (poner el esquema general)</b>	<b>68</b>
4.3.1	Esquema general de las herramientas tecnológicas	68
4.3.2	Módulo de captura de datos	70

4.3.3	Módulo de envío de datos	71
4.3.4	Módulo de Recepción de datos	73
4.3.5	Módulo de procesamiento de datos	74
<b>CAPÍTULO 5: APOORTE PRÁCTICO</b>		<b>77</b>
<b>5.1</b>	<b>Interfaces de usuario</b>	<b>77</b>
<b>5.2</b>	<b>Calibración</b>	<b>80</b>
5.2.1	Regresión	81
5.2.2	Comparación de métodos de regresión	89
5.2.3	Resultado de la comparación	90
<b>5.3</b>	<b>Validación</b>	<b>91</b>
<b>5.4</b>	<b>Validación económica</b>	<b>95</b>
<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES, TRABAJOS FUTUROS Y RECOMENDACIONES</b>		<b>96</b>
<b>6.1</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>96</b>
<b>6.2</b>	<b>Trabajos futuros</b>	<b>97</b>
<b>6.3</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>97</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		<b>98</b>

## Lista de figuras

Figura 2.1. Grados de libertad angular o ángulos de navegación	18
Figura 2.2. Movimiento de guiñada o Yaw	19
Figura 2.3. Movimiento de inclinación o Pitch	19
Figura 2.4. Movimiento de bamboleo o Roll	20
Figura 2.5. Movimiento vertical (ascender, descender o estacionario)	20
Figura 2.6. Arduino Uno REV3	22
Figura 2.7. Diagrama de bloques de un sistema de visión artificial	23
Figura 2.8. Matriz de una imagen	24
Figura 2.9. Vecindad de horizontales y verticales de un pixel	24
Figura 2.10. Vecindad de diagonales de un pixel	25
Figura 2.11. Binarización de una imagen	25
Figura 2.12. División en cuatro partes iguales de la imagen transformada	26
Figura 2.13. Detección de caras utilizando OpenCV	27
Figura 2.17. Telemetría por medio de la telefonía móvil celular	29
Figura 3.1. Puntos de datos de posicionamiento	32
Figura 3.2. Fórmula de cálculo de área	33
Figura 3.3. Fórmula de suma de áreas	33
Figura 3.4. Dispositivo Garmin GPSMAP 64ST	34
Figura 3.5. Dispositivo Garmin Etrex 30x	35
Figura 3.6. Mediciones de áreas de cultivos	37
Figura 3.7. Estimaciones de cobertura forestal	38
Figura 3.8. Relación de áreas y pixeles	39
Figura 3.9. Componentes del estudio foliar	40
Figura 3.10. Relación de valores de área foliar por cada cámara	41

Figura 3.11. Imagen de un AR Drone 1	45
Figura 3.12. Vulcan 900mm SkyHook Hexacopter	47
Figura 3.13. XL Hexacopter MK HEXA XL – Microcopter	48
Figura 3.14. Arquitectura del sistema de adquisición remota de imágenes	51
Figura 3.15. Imagen tomada desde el ArDrone con una GoPro Hero2	54
Figura 4.1. Esquema general de la solución del proyecto de tesis	55
Figura 4.2. Esquema de obtención de datos	56
Figura 4.3. Esquema de envío	56
Figura 4.4. Esquema de recepción de datos	57
Figura 4.5. Esquema de cálculo del área	57
Figura 4.6. Drone Dji F550	58
Figura 4.7. Cámara Go Pro Hero 3	61
Figura 4.8. Módulo RF	61
Figura 4.9. Módulo FPV Boscam Micro con una frecuencia de 5.8 GHz	62
Figura 4.10. Easy Cap	63
Figura 4.11. Barómetro BMP180	64
Figura 4.12. GPS6MV2	64
Figura 4.13 Diagrama General de herramientas tecnológicas	66
Figura 4.14. Módulo de captura de datos	67
Figura 4.15. Módulo de envío de datos	69
Figura 4.16. Módulo de recepción de datos	70
Figura 4.17. Módulo de procesamiento de datos	71
Figura 4.18. Interfaz de inicio de sesión y registro	72
Figura 4.19. Interfaz de capturar imágenes	73

## **Lista de tablas**

Tabla 1.1. Cotización de recursos del proyecto	16
Tabla 2.1. Comparación entre un avión y un vehículo aéreo no tripulado	17
Tabla 2.3. Comparación de las tecnologías con sus escalas de empleo	25
Tabla 2.4. Comparación de cámaras estándar con una fotogramétrica	26
Tabla 3.1 Cuadro comparativo de metodologías para calcular área superficial	44
Tabla 4.1. Comparación de placas Arduino	59
Tabla 4.2. Comparación de dispositivos de telemetría	60



## **Capítulo 1: Introducción**

El uso de drones ha tomado importancia en estos últimos años debido a que son económicos, permiten la captura de imágenes aéreas, son vehículos fácilmente trasportables, permiten la integración con otros dispositivos, pueden acceder a lugares de difícil acceso y entre otros. Las fotografías tomadas a través de un dron son necesarias para el procesamiento de imágenes que nos va permitir calcular superficies que estén dentro de las fotografías.

En los procesos de fiscalización de la municipalidad de estudio necesitan obtener el área de un predio o parte del mismo; en muchas ocasiones realizan este cálculo empíricamente, teniendo una idea aproximada de cuánto podría medir para que pueda ser utilizado en diferentes procesos de la fiscalización.

El objetivo del presente proyecto de tesis es diseñar un sistema que permita el cálculo del área de un predio mediante procesamiento de imágenes, para esto enviaremos las imágenes aéreas, GPS y altura hacia una computadora portátil por medio de ondas de radio, donde se procesaran los datos para hallar el área requerida por el fiscalizador.

### **1.1 Antecedentes**

Desde los orígenes del hombre siempre se ha visto la necesidad de obtener el área de figuras geométricas como el triángulo, rectángulos, hexágonos y entre otros (2200 a.c). En el siglo III a.c. Arquímedes escribió el libro llamado La cuadratura de la parábola, donde describe el método del agotamiento para el cálculo aproximado de áreas.

Luego en los siglos XVII y XIX apareció la topografía, donde avanzó rápidamente en la construcción de mapas utilizando triangulaciones precisas. De manera que una amplia gama de métodos de medición topográfica ha evolucionado para satisfacer esta necesidad, como la exploración láser terrestre, el LIDAR aéreo. A pesar de la variedad de métodos disponibles, la producción de modelos digitales de elevación de alta resolución y de alta calidad requiere generalmente una inversión significativa en tiempo personal, hardware y / o software. Es por eso que los métodos de procesamiento imágenes, han ido disminuyendo continuamente en los costos.

Como vemos, la obtención de áreas o medidas específicas de determinados objetos, lugares o cuerpos vivientes se ha solucionado mediante el procesamiento de imágenes, pero no es el único método que satisface esas necesidades. Sin embargo, debemos considerar que la obtención de imágenes áreas mediante drones requiere bajos recursos a comparación de otros métodos [C. Diaz, 2013].

## **1.2 Definición del problema**

El proceso de determinación del cálculo del área de un predio que realiza el área de fiscalización de una municipalidad genera un alto índice de error, debido a que lo realizan de manera empírica.

## **1.3 Justificación**

En los procesos de fiscalización donde los fiscalizadores van al campo a levantar información catastral como número de pisos de una casa, el área de un predio, el material de construcción, la obtención de dichos datos es crítica para la generación de tributos, así como los servicios ciudadanos a los que el gobierno local está obligado a proporcionar.

Sin embargo, el proceso de levantamiento de información catastral para diferentes procesos de cálculo se hace de manera manual en algunos casos. Por lo tanto, procesos como la fiscalización de construcciones sin permiso de las municipalidades toma un tiempo considerable, donde el mayor factor era el cálculo del área de las edificaciones sin permiso de construcción. Esta propuesta va servir como punto de partida para las municipalidades, que podrán obtener información puntual y en tiempo corto sobre los predios a su cargo, con lo que podrán identificar problemas presentes en su gestión con el fin de responder de manera rápida y concreta sobre temas de saneamiento, seguridad, infraestructura precaria generando bienestar y cumplimiento de objetivos de gobierno

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo principal**

Desarrollar e implementar una solución tecnológica para la obtención del área de un predio utilizando procesamiento de imágenes mediante un dron aplicada a la Municipalidad de estudio.

### 1.4.2 Objetivos secundarios

- Determinar la necesidad de crear una solución tecnológica de cálculo del área predial.
- Comparar los diferentes métodos para realizar la solución tecnológica.
- Identificar los recursos mínimos para la elaboración de la solución.
- Analizar el uso de procesamiento de imágenes para el cálculo del área predial.
- Definir el algoritmo óptimo para el cálculo del área predial.
- Diseñar la solución tecnológica según la especificación del área de fiscalización.
- Elaborar la calibración y pruebas de validación.
- Implantar la solución tecnológica para que pueda ser utilizada.

### 1.5 Propuesta de la tesis

Se presenta como solución un sistema que permite obtener el área de un predio y geolocalización a través de imágenes verticales aéreas utilizando un dron con una cámara GoPro Hero 3 integrada. El envío de las imágenes captadas por la cámara, la altura de vuelo y la geolocalización se realiza desde el dron en vuelo hacia una laptop, es aquí donde se obtiene la información y utilizando algoritmos de procesamiento de imágenes se procesa la información para obtener el área del predio. Toda la información es almacenada en el sistema para que los fiscalizadores encargados del manejo del sistema puedan acceder pudiendo utilizarlo para sus propias directrices de acuerdo a su plan.

<b>COTIZACION DE RECURSOS PARA EL PROYECTO</b>	<b>MONTO</b>
Cámara Go Pro 3	S/.800,00
Drone Dji 550	S/.2000,00
Arduino Nano	S/.72,00
Laptop	S/.1.800,00
Sistema de video FPV	S/.180.00

Easy Cap	S/.60,00
02 módulos RF	S/.10,00
Shield USB	S/.10,00
Barómetro	S/.20,00
Gimbal	S/.387,00
<b>Costo Total</b>	<b>S/.5.339,00</b>

**Tabla 1.1. Cotización de recursos del proyecto. [Elaboración propia]**

## **1.6 Presentación del resto de la tesis**

En el capítulo 2 se abordará el marco teórico, describiendo los conceptos que nos ayudaron a desarrollar e implementar la solución tecnológica con los métodos existentes.

## Capítulo 2: Marco Teórico

A continuación, vamos a mencionar los conceptos necesarios para el uso de drones en el campo de procesamiento de imágenes, ya que serán útiles como base fundamental a lo largo de todo el proceso de investigación.

### 2.1 Dron

Son aquellos que realizan una misión o actividad sin tener tripulación a bordo, ya que el control del mismo se realiza desde la tierra, ya sea por medio de un controlador o de forma autónoma. Los drones, también conocidos como vehículos aéreos no tripulados, hoy en día no solo se utilizan en el sector defensa también son usados en aplicaciones civiles como el caso de la agricultura y el medio ambiente, el desarrollo de esta tecnología ha aumentado exponencialmente en los últimos años en todo el mundo [C. Diaz, 2013].

En la tabla 2.1 se hace una comparación entre las aeronaves tripuladas y no tripuladas.

<b>Característica</b>	<b>UAV</b>	<b>Avión</b>
Permanencia / autonomía	Media	Baja
Velocidad	Baja	Alta
Alcance	Media	Baja
Penetración	Alta	Alta
Maniobrabilidad	Alta	Media
Precisión	Media	Baja
Capacidad de respuesta	Media	Alta
Previsibilidad	Media	Baja
Autonomía	Media	Baja
Restricción de uso	Alta	Media
Coste de posesión	Alta	Media
Factor humano	Media	Alta
Polivalencia	Alta	Alta

**Tabla 2.1. Comparación entre un avión y un vehículo aéreo no tripulado(UAV).**

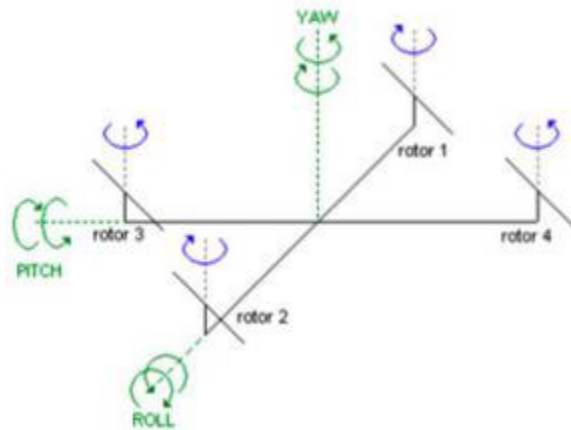
**[C. Diaz, 2013]**

Un Dron tiene la capacidad de despegar y aterrizar de forma vertical, facilitando la navegación en zonas urbanas como rurales, de la misma manera que lo hace un helicóptero, la diferencia principal es que su estructura está formada por motores que le

permiten sostenerse en el aire, el número de motores es correspondiente al número de hélices que presenta el dron.

### 2.1.1 Cuadricóptero

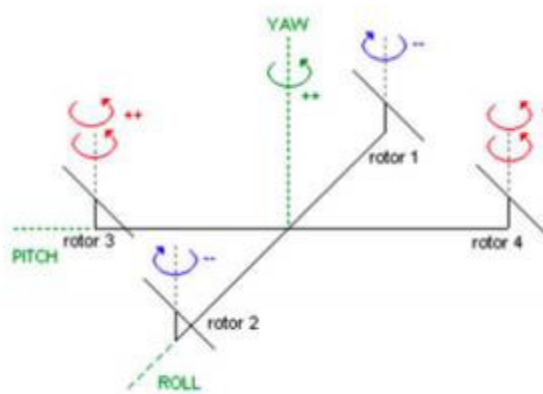
Estos vehículos aéreos no tripulados poseen tres grados de libertad angular o también conocidos como ángulos de navegación que son: roll, pitch y yaw (ver figura 2.1).



**Figura 2.1. Grados de libertad angular o ángulos de navegación.**

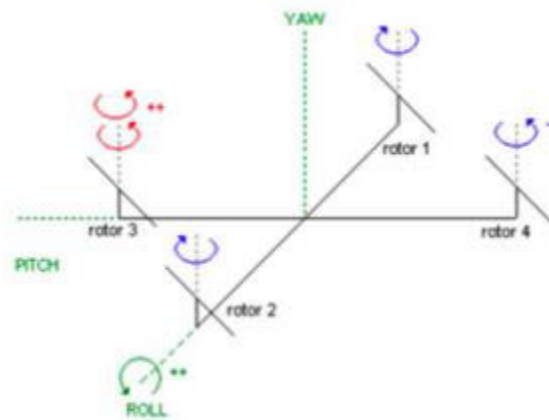
**[J. Redolfi et al., 2011]**

El movimiento de guiñada o yaw se presenta cuando el cuadricóptero gira sobre su eje vertical, esto se logra aumentando o disminuyendo en la misma proporción la potencia de giro del rotor 1 y rotor 3 y disminuyendo o aumentando en igual potencia de giro del rotor 2 y 4 (ver figura 2.2).



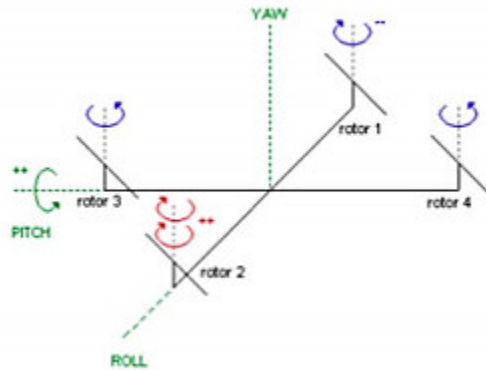
**Figura 2.2. Movimiento de guiñada o Yaw. [J. Redolfi et al., 2011]**

El movimiento de inclinación o pitch es el que permite que el cuadricóptero se desplace hacia adelante o hacia atrás, para ello el cuadricóptero requiere de aumentar la potencia en el rotor 1 que es opuesto al sentido deseado y disminuyendo en la misma magnitud el rotor 2, dejando el rotor 3 y 4 a potencia media (ver figura 2.3).



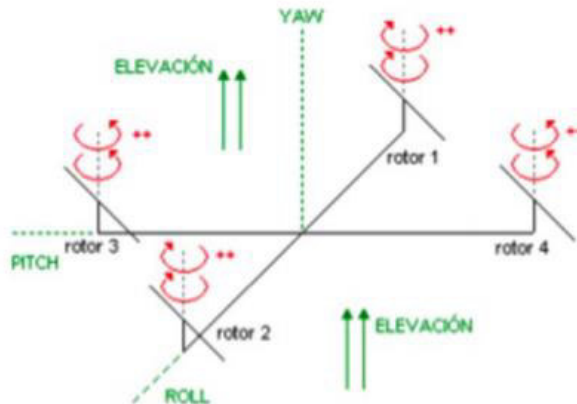
**Figura 2.3. Movimiento de inclinación o Pitch. [J. Redolfi et al., 2011]**

El movimiento de bamboleo o roll es cuando el cuadricóptero rota a la izquierda o a la derecha, usa el mismo principio de inclinación o pitch, pero de forma lateral (ver figura 2.4).



**Figura 2.4. Movimiento de bamboleo o Roll. [J. Redolfi et al., 2011]**

El movimiento vertical (ascender o descender) o mantenerse estacionario se logra generando con los cuatro rotores una fuerza mayor (ascender) o menor (descender) que la generada por la fuerza de gravedad (ver figura 2.5).



**Figura 2.5. Movimiento vertical (ascender, descender o estacionario).**

**[J. Redolfi et al., 2011]**



Actualmente las baterías de Litio-Polímero son usadas en drones para dar voltaje a sus motores, controladores y sensores que pueden presentar. La característica fundamental de estas baterías es son muy potentes y tienen bajo peso, esencial para este tipo de aplicaciones. [J. Redolfi et al., 2011]

Con estos conceptos, podemos darnos una idea general del funcionamiento de un dron, muy aparte del número de hélices que puede presentar y podemos darnos cuenta la alta maniobrabilidad y usabilidad que tienen.

## **2.2 Arduino**

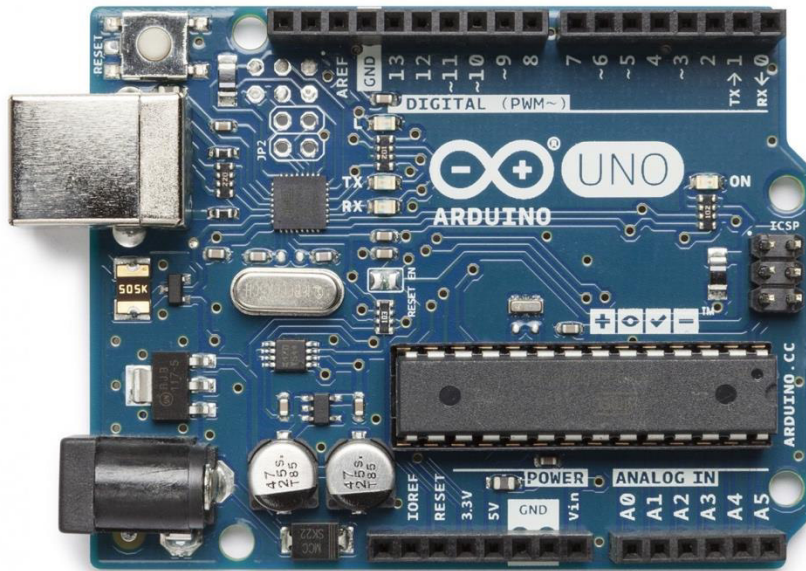
Arduino es una plataforma de hardware y software de código abierto que contiene entradas, salidas tanto analógicas como digitales. Basado en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para proyectos electrónicos e informáticos. En los últimos años Arduino ha sido responsable de miles de proyectos, partiendo de objetos cotidianos hasta complejos trabajos científicos [Arduino Ofic. Int., 2017].

Esta herramienta permite desarrollar proyectos de internet de las cosas a nivel mundial. Donde la comunidad de Arduino que consta de estudiantes, fabricantes, aficionados artistas, programadores y profesionales se ha reunido en torno a esta plataforma de código abierto para implementar juegos, vehículos autónomos, casas inteligentes y entre otros [Arduino Ofic. Abo., 2017].

### **2.2.1 Hardware**

En el mercado existe diferentes productos Arduino, es decir hardware con especificaciones y documentaciones de licencia abierta para el público, como tarjetas, módulos, shields, kits y accesorios. Entre los más populares se encuentra el Arduino Uno, que lo recomiendan mucho si recién estas iniciando. También existe el Arduino Mega ADK que tiene presenta más entradas y salidas en la tarjeta que un Arduino Uno.

En el campo del internet de las cosas crearon varias herramientas como el Arduino Yun, wifi shield, Wireless SD shield y entre otros. Inclusive lanzaron un hardware llamado Materia 101 que sirve para impresiones 3d [Arduino Ofic. Hardware, 2017].



**Figura 2.6. Arduino Uno REV3. [Arduino Ofic. Arduino Uno, 2017]**

### **2.2.2 Software**

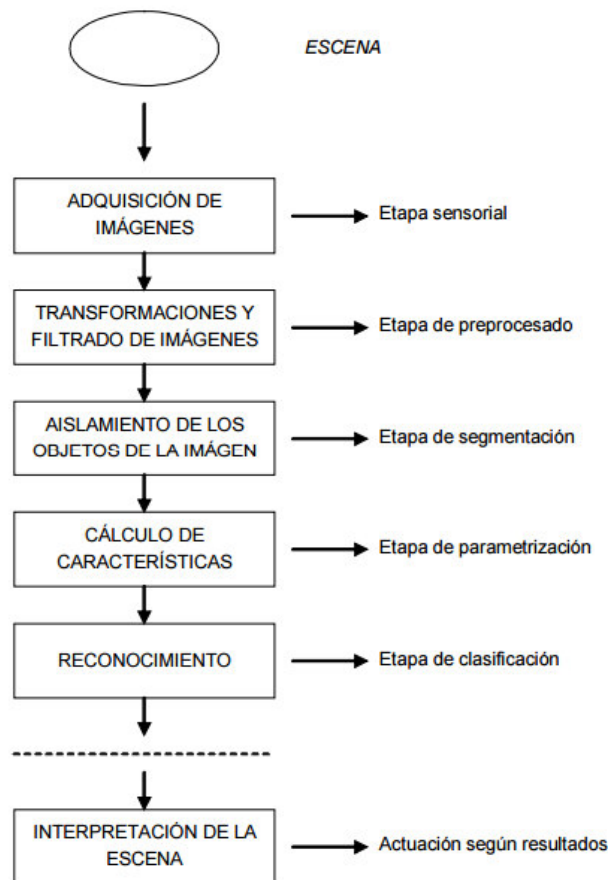
En la comunidad Arduino se utiliza un IDE (Entorno de desarrollo integrado) llamado Arduino IDE que permite escribir código y actualizarlo en la tarjeta Arduino. Este software está disponible para Windows, Mac OS y Linux, se puede descargar directamente desde su página oficial. Por otro lado, existe una versión online llamado Arduino Web Editor que te permite guardar tu código remotamente [Arduino Ofic. Software, 2017].

## **2.3 Procesamiento digital de imágenes**

El procesamiento digital de imágenes se realiza desde dos enfoques uno desde el punto de vista del procesamiento de señales donde se considera el dominio de frecuencias y un segundo enfoque en el dominio espacial donde se considera la imagen como una matriz. [N. Hernández, 2004]

### 2.3.1 Conceptos generales

El procesamiento digital de imágenes tiene como objetivo producir una imagen de mejor calidad a partir de una imagen digital dada, se busca eliminar ruido o elementos que no permitan obtener una imagen aceptable [N. Hernández, 2004]. Es una parte fundamental en la visión artificial ya que a partir de este proceso se busca identificar objetos o segmentarlos.



**Figura 2.7. Diagrama de bloques de un sistema de visión artificial.**

**[A. Gonzáles et al., 2006]**

A. Imagen digital.

Se considera como una matriz donde el elemento denominado pixel (abreviaturas del inglés *pictures elements*) en la fila **i** columna **j** tiene un nivel de gris **f(i,j)** que toma valores entre 0 (negro) y 255 (blanco).

$$\begin{pmatrix} 5 & 5 & 5 \\ 5 & 2 & 5 \\ 5 & 5 & 5 \end{pmatrix}$$

**Figura 2.8. Matriz de una imagen donde para algún  $(i, j)$  se tiene  $f(i,j)=2$ .**

**[N. Hernández, 2004]**

#### B. Relaciones entre píxeles.

Un pixel **p** con coordenadas  **$(x,y)$**  tiene 4 vecinos horizontales y verticales, cuyas coordenadas son:  **$(x+1, y)$ ,  $(x-1, y)$ ,  $(x, y-1)$ ,  $(x, y+1)$** . ver la figura 2.10.

Nótese que para cada uno de estos píxeles hay una distancia de 1 de p y que en los bordes de la imagen algunos de estos píxeles quedarán fuera de la imagen.

	$(x-1,y)$	
$(x,y-1)$	$(x,y)$	$(x,y+1)$
	$(x+1,y)$	

**Figura 2.9. Vecindad de horizontales y verticales de un pixel.**

**[J. Esqueda, 2002]**

También, existe 4 vecinos diagonales de **p** con sus respectivas coordenadas. Ver la figura 2.11.

$(x-1,y-1)$		$(x-1,y+1)$
	$(x,y)$	
$(x+1,y-1)$		$(x+1,y+1)$

**Figura 2.10. Vecindad de diagonales de un pixel.**

**[J. Esqueda, 2002]**

C. Binarización de una imagen.

La binarización de una imagen consiste en comparar los niveles de gris presentes en la imagen con un valor (umbral) predeterminado. Si el nivel de gris de la imagen es menor que el umbral predeterminado, se le asigna al pixel de la imagen binarizada el valor 0 (negro), y si es mayor, se le asigna un 1 (blanco). De esta forma se obtiene una imagen en blanco y negro.



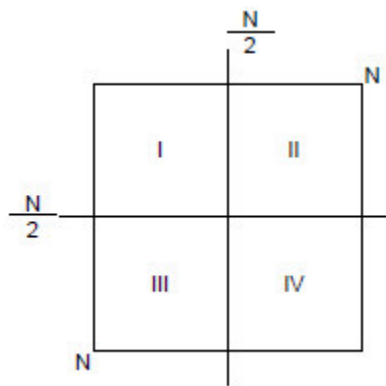
**Figura 2.11. Binarización de una imagen. Original (izquierda) – Binarizada (derecha).**

**[J. Esqueda, 2002]**

#### D. Amplificación de imágenes.

Para realizar la ampliación de una imagen se utiliza una interpolación en el dominio del tiempo (espacial) mediante la transformada discreta de Fourier, siempre y cuando los lados de la imagen tengan un número de píxeles que sea potencia de dos. A continuación, se presenta el procedimiento de amplificar una imagen 4 veces su tamaño original. [J. Esqueda, 2002]

1. Transformar la imagen A al dominio de la frecuencia (matriz B).
2. Dividir la imagen transformada (matriz B) en cuatro partes iguales, tal como se muestra en la figura 2.13.



**Figura 2.12. División en cuatro partes iguales de la imagen transformada B.**

**[J. Esqueda, 2002]**

3. Insertar N ceros a cada fila de la matriz B, como también a cada columna.
4. Luego, se tiene que anti transformar la matriz aumentada B para obtener una matriz A aumentada de dimensiones  $2N \times 2N$ .

#### 2.3.2 OPENCV

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) es un framework de código abierto y software de aprendizaje. OpenCV fue construido para proporcionar una infraestructura común para aplicaciones de visión por computador y para acelerar el uso de la percepción de la máquina en los productos comerciales. Al ser un producto con licencia BSD, OpenCV hace que sea fácil para las empresas a utilizar y modificar el código. [V. M. Arévalo et al., 2004]

Esta librería cuenta con más de 2.500 algoritmos optimizados, que incluye un amplio conjunto de algoritmos de aprendizaje clásico y visión por ordenador del estado de la técnica y de la

máquina. Estos algoritmos se pueden utilizar para detectar y reconocer rostros, identificar objetos, clasificar las acciones humanas en los videos, rastrear los movimientos de cámara, seguimiento de objetos en movimiento, extraer modelos 3D de objetos, producen nubes de puntos 3D de cámaras estéreo y mucho más. [G. Bradski et al., 2008]

Las aplicaciones de OpenCV están presentes en diferentes ámbitos, desde la detección de intrusos en videos de vigilancia, como también reconocimiento de rostros para una identificación biométrica.

Es una herramienta muy utilizada por muchas empresas entre ellas algunas muy conocidas y como vemos esta librería es muy útil para el tratamiento de imágenes y videos, con una gran comunidad de usuarios que apoyan a la mejora de esta herramienta. Cabe resaltar que proporcionara una gran ayuda para manejar las imágenes recibidas de un dron, y al mismo tiempo nos va permitir obtener medidas en base a pixeles dentro de la imagen.



**Figura 2.13. Detección de caras utilizando OpenCV.**

**[V. M. Arévalo et al., 2004]**

## **2.4 Telemetría**

Etimológicamente, la palabra telemetría es de origen griego “tele” que significa “distancia” y “metría” que expresa “medida”.

A la telemetría se le conoce como el sistema que permite la monitorización y /o hacer mediciones de magnitudes físicas o químicas a través de datos que son enviados hacia un punto distante.

La telemetría puede realizar comunicación por medios como: Redes de ordenadores, fibra óptica, telefónico, entre otros. Pero principalmente en medios de comunicación inalámbrica. Siendo

usada en diversos campos que van desde la agricultura hasta la astrología, entre ellos algunos ejemplos como el automovilismo, a la aviación, medicina, industria del petróleo, biología, ecología y claro porque no mencionar al fin de esta tesis como Catastro urbano, habiendo muchas más sin mencionar. [Y. Bedoya et al., 2013]

#### **2.4.1 Sistema de telemetría**

- A. Medio de transmisión en forma de líneas de cable u ondas de radio.

Este medio de transmisión puede darse por medios como: Redes de ordenadores o enlaces de fibra óptica, redes de telefonía clásica, comunicación por bluetooth, comunicación por wifi, redes de teléfono móvil o incluso por ondas de radio que es la que usaremos en este proyecto.

- B. Dispositivos de entrada

El dispositivo de entrada se constituye de 2 partes fundamentales que es el sensor, aquel elemento primario donde obtiene las variaciones de estado de las magnitudes físicas. Y el transductor, que es el que se encarga de convertir el valor de temperatura, presión o vibraciones en la señal eléctrica correspondiente, una vez detectada la variable a seguir, como puede ser la velocidad, las revoluciones del motor, la posición de la moto o el estado de las suspensiones.

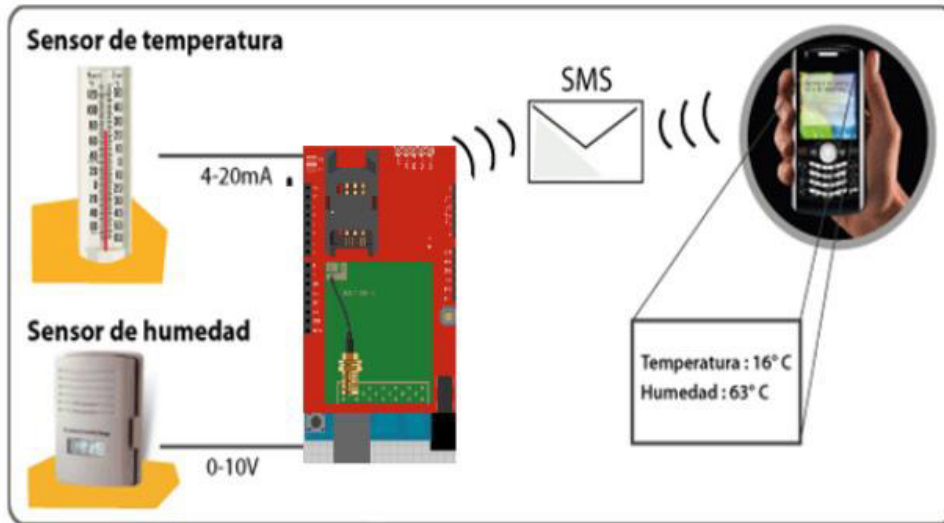
- C. Dispositivo de procesamiento de la señal

El dispositivo de procesamiento de la señal está compuesto por un servidor remoto encargado de analizar y transformar los datos, según sea conveniente, para posteriormente guardar la información en una base de datos en el ordenador.

- D. Dispositivos de grabación o visualización de datos

Para poder ver los datos se utiliza una herramienta de software que permitirá ver los valores obtenidos en gráficas. [Y. Bedoya et al., 2013]





**Figura 2.17. Telemetría por medio de la telefonía móvil celular.**

**[Y. Bedoya et al., 2013]**

### **Capítulo 3: Estado del Arte**

En este capítulo se realizó una búsqueda y revisión bibliográfica para el desarrollo de la investigación. Se identificaron libros, revistas y artículos con la finalidad de profundizar en las técnicas, métodos, herramientas que aplicaron otros autores en investigaciones iguales o similares a la solución propuesta como: UAV, Software libre, GPS, redes inalámbricas, procesamiento de imágenes y sensores para captura de imágenes aéreas.

#### **3.1 Trabajos previos realizados para la medición de área superficial**

Según la topografía, existen diferentes métodos para la calcular áreas de terrenos irregulares o regulares, pequeños o grandes. Mientras algunos métodos son simples, porque se basan en la geometría básica, otros son complejos, ya que implican el uso de GPS o imágenes satelitales.

Por eso se han identificado diferentes métodos y tecnologías, y a su vez una comparativa con la solución propuesta en un contexto definido por la problemática.

Un terreno urbano o rural tiene que ser medido por varias razones, ya sea porque quiere dar acciones, ante una compra, la construcción de un muro en la frontera, o una disputa de demarcación con su colindante. Ante estas necesidades, se puede hacer uso de los servicios de un ingeniero civil, pero su trabajo es demasiado costoso, entonces surgen otros caminos que nos llevan a utilizar métodos mucho más baratos y tecnologías de apoyo. En esta parte se explicarán algunos métodos con sus respectivos trabajos realizados para el cálculo del área.

##### **3.1.1 Método del GPS**

El GPS significa Sistema de Posicionamiento Global y consiste en una serie de satélites que dan las coordenadas de un punto de recepción, lo hace con una precisión de +/- 1 metro. Esto es muy útil en áreas grandes de la tierra donde se puede ir a cada extremo y obtener las coordenadas para poder calcular el área que encierra esas coordenadas. [Hasanuddin Z. Abidin et al., 2004]

Según la investigación sobre los métodos para calcular áreas de los predios realizada por "The World Bank" [Gero Carleto et al., 2016], podemos concluir lo siguiente.

A. Características:

- Puede ser utilizado casi en cualquier parte del mundo.
- Requiere siempre una conexión con satélites.

B. Ventajas

- Relativamente barato por la adquisición de los equipos, según la investigación se utilizaron para las pruebas dispositivos Garmin 12 y Garmin 72 que presentan un precio que oscila entre los 2700 a 3000 soles.
- Relativamente Preciso, según la investigación presenta una diferencia de error de  $\pm 0.01$  acre, lo que se traduce en una diferencia de 1 – 3 % respecto al método de la Brújula y wincha, la cual es considerado como "Gold Standar".

C. Desventajas

- Presenta un gran porcentaje de error con áreas pequeñas, llegando incluso hasta 30% en Etiopía, según la investigación.
- Dificultad para medir terrenos de difícil acceso

### **3.1.2 Casos de estudio del Método GPS**

A. Experiencia con equipos GPS para la medición en áreas de cultivo: El Caso de Uganda.

Uganda, un país de desarrollo ubicado en África Oriental, presenta como una de sus principales problemas el no poseer una estimación de su producción de cultivos alimentarios. Algunos métodos para su cálculo son: balance de alimentos, estimación de agricultores, pasajes directos, rendimiento y entre otros.

El área de la tierra utilizada para el cultivo varía en las diferentes estaciones y lugares del país. Este patrón es muy útil para la estimación y planificación agrícola. [Muwanga et al., 2005]

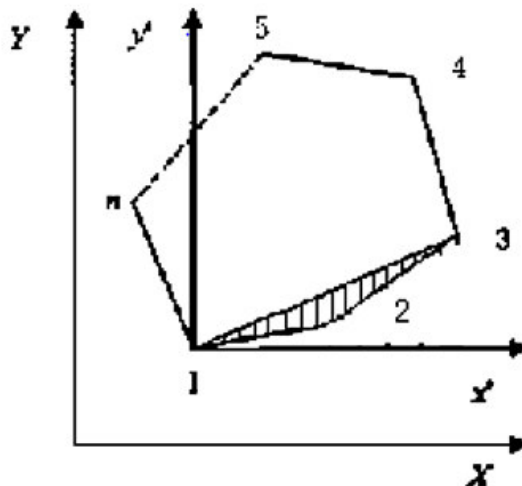
Se realizó una comparación de 2 métodos para calcular el área de un terreno, una es el clásico método de "La brújula y la wincha" y el otro es el "el método de GPS" mediante la utilización de los dispositivos Garmin 12 y Garmin 12 XL. [Muwanga et al., 2005]

Como resultados se obtuvieron que ambos métodos presentan una cercana exactitud, teniendo el método de "La brújula y la wincha" como tiempo promedio tres veces más largo que el método de GPS. Además de que para los resultados de las mediciones de parcelas pequeñas no fueron concluyentes. [Muwanga et al., 2005].

- B. Diseñar un instrumento portable para medir el tamaño de campo de agricultura en base a GPS.

En el primer congreso internacional de tecnologías de Agricultura, presentaron la fabricación de un dispositivo portátil GPS donde su algoritmo para calcular áreas consistía en recorrer el campo geométrico de la superficie. También mencionaron que la medición tradicional presenta un mayor tiempo de cálculo a comparación del método del GPS. Además, su dispositivo tiene la capacidad de medir el tamaño geométrico de los campos de agricultura donde el error relativo de la medición es menor de 2.5% y cuanto mayor sea el tamaño del campo mayor será la precisión [Xinjian Xiang et al., 2007].

- Método para el cálculo del tamaño geométricos de campos  
Se tiene que caminar alrededor del campo de agricultura para obtener un grupo de datos de posicionamiento, estos datos se obtendrán de este orden:  $(X_1, Y_1)$ ,  $(X_2, Y_2)$  ...  $(X_n, Y_n)$ , donde la "X" es longitud e "Y" latitud. Uniendo las coordenadas se forma un polígono.



**Figura 3.1. Puntos de datos de posicionamiento.**

**[Xinjian Xiang et al., 2007]**

Para el cálculo del área se usa el método triangular que consiste en dividir el campo geométrico en triángulos, para luego calcular sus áreas y sumarlos.

$$S_1 = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$$

**Figura 3.2. Fórmula de cálculo de área.**

**[Xinjian Xiang et al., 2007]**

Donde:

S1: es el área del triángulo.

a: es la distancia entre el punto 1 y 2

b: es la distancia entre el punto 2 y 3

c: es la distancia entre el punto 3 y 1

p: es el semi perímetro del triángulo

A continuación, la fórmula para el cálculo del área del campo geométrico.

$$S = \sum_{i=1}^{n-2} S_i$$

**Figura 3.3. Fórmula de suma de áreas.**

**[Xinjian Xiang et al., 2007]**

#### C. Dispositivos de GPS Garmin.

Garmin, es una empresa que realiza procesos de diseño y fabricación de equipos de navegación para el sector de la aviación, marítimo, deportivas y automoción [Garmin, 2017].

Entre su enorme gama de productos presenta algunos como:

- El GPSMAP 64st

Es un dispositivo con GPS integrado, posee una pantalla en color de 2,62", un altímetro barométrico y una brújula de tres ejes con conectividad Bluetooth. Presenta resistencia al agua como también la capacidad de conectarlo de forma inalámbrica con un Smartphone para realizar un rastreo en tiempo real.

Como una de sus principales características es la de poseer una antena Quadrifilar Helix con la que permite una recepción de la ubicación mediante GPS en lugares de bosques espesos o en presencia de edificios o arboles grandes. Además de presentar una autonomía de hasta 16 horas para poder realizar grandes recorridos.



**Figura 3.4. Dispositivo Garmin GPSMAP 64ST.**

**[Garmin GPSMAP, 2007]**

- **Etrex 30x**

Presenta una pantalla de colores nítidos de 2,2 pulgadas, integrado con un GPS de alta sensibilidad compatible con HotFix y GLONASS, brújula de tres ejes y altímetro barométrico respectivamente. Perfecto para actividades al aire libre como senderismo, ciclismo, montañismo y entre muchos más.

Tiene una gran resistencia a la humedad, suciedad, polvo y al agua. Tiene la capacidad de fijar posición con 24 satélites más que los dispositivos GPS normales, teniendo un sensor de alta sensibilidad obteniendo la ubicación rápida y precisa en bosques espesos.



**Figura 3.5. Dispositivo Garmin ETREX 30X.**  
**[Garmin ETREX, 2007]**

Ambos dispositivos permiten conocer la ubicación, por medio de satélites, sin la necesidad de internet o alguna línea operadora. Presentan la característica de poder calcular áreas de terrenos realizando un recorrido en el perímetro del área que se desea medir.

En el manual de los dispositivos mencionan los pasos a seguir para obtener el área de un terreno:

- Iniciar el cálculo del área
- Caminar alrededor del perímetro del terreno
- Indicar la opción "Calcular"

### **3.1.3 Método de Imágenes Satelitales**

Las imágenes de satélite se han utilizado ampliamente para la clasificación de la cobertura de la tierra y área cultivada. Para una medición más exacta con imágenes satelitales será un objetivo fácil las parcelas porque son permanentes, más grandes y con fronteras claramente definidas. Presenta una reducción enorme de coste en cuanto al envío de personal a medir un terreno enorme, lejano o inseguro para trabajo de campo, y sin mencionar el ahorro de tiempo. Sin embargo, surge la existencia de costo en adquisición de imágenes y post-procesamiento de la información [Gero Carletoo et al., 2016].

#### A. Características

- No es necesario dirigirse a los lugares para obtener la medida de áreas.
- Enorme reducción de tiempo en el trabajo de campo.

#### B. Ventajas

- Reducción del costo de envío de personal a los lugares donde se requiere medir el área.
- Posibilidad de realizar mediciones de terrenos alejados con difícil acceso.
- Aplicable para terrenos muy grandes donde el personal no pueda realizar un recorrido por el perímetro.

#### C. Desventajas

- Limitaciones en la resolución y disponibilidad de la imagen de la superficie terrestre.
- La presencia de nubes afecta los sensores ópticos de los satélites, como en ciertas partes de Nigeria.
- Desincronización del momento en que fue tomada la imagen y la actualidad.

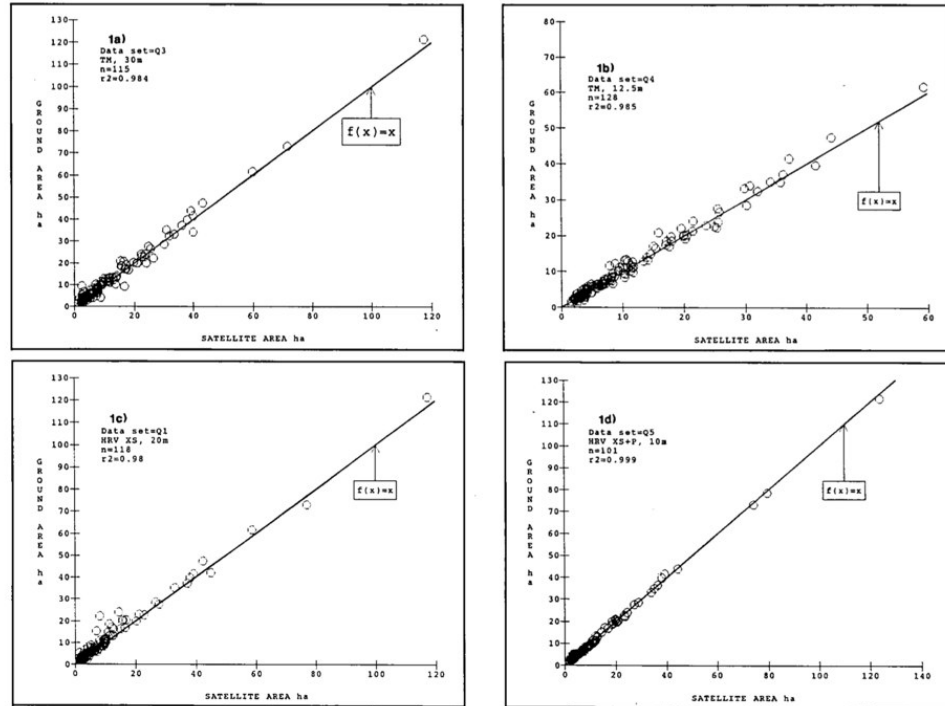
### **3.1.4 Casos de estudio del Método de Imágenes Satelitales.**

#### A. Medición del área de campos de agricultura a través de imágenes satelitales

En Canadá se hizo un estudio para determinar la factibilidad de determinar las áreas de campos de agricultura a través de imágenes satelitales [Josef Cihlar, 1988]. Para este estudio se utilizaron imágenes TM, HRV multi-espectral y HRV pancromático de las ciudades: Quebec, Melfort y Swift.

Las variables que se consideraron fueron las condiciones agrícolas, datos satelitales, pre procesamiento espacial, pre procesamiento espectral, ancho de línea del cursor, forma del campo, evaluación de la precisión. Este estudio consistió en delimitar el perímetro del área de prueba en las imágenes satelitales mediante el cursor del computador, luego utilizando la escala a la cual se había tomado las imágenes satelitales se obtuvieron las áreas aproximadas.





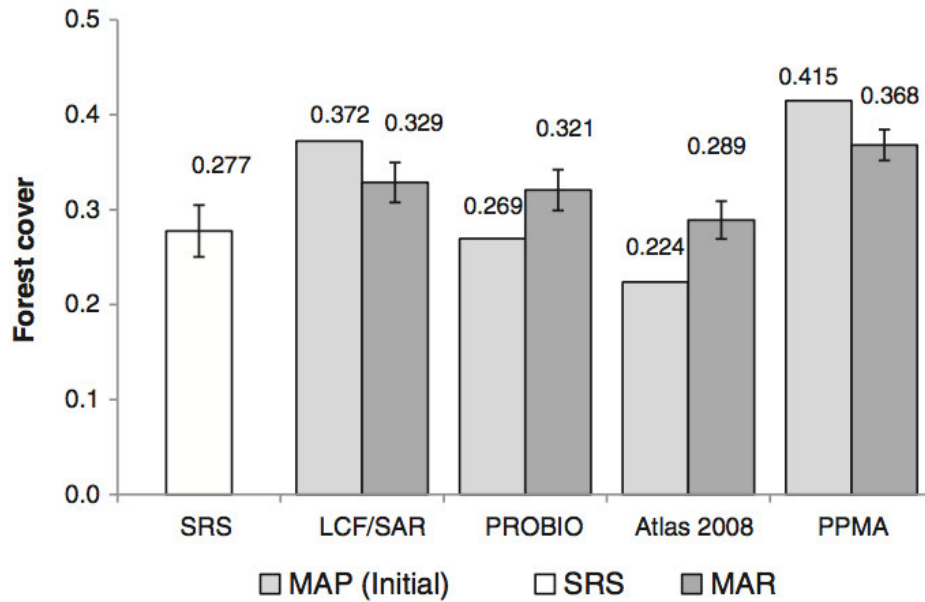
**Figura 3.6. Mediciones de áreas de cultivos.**

**[Josef Cihlar, 1988]**

Este cuadro estadístico muestra las mediciones de áreas de cultivo mediante mapas catastrales contra las mediciones usando imágenes satelitales dando una confiabilidad de 95 %.

- B. Usando el inventario de imágenes satelitales para estimar el área de la vegetación del bosque.

Este estudio consistió en estimar los atributos de las áreas forestales como la medición del área de su cobertura, a través de mapas basados en imágenes satelitales de la ciudad de Santa Catarina en el sur de Brasil. Se usó 4 diferentes tipos de mapas, que luego se compararon para determinar la estimación promedio donde el PPMA mapa obtuvo el menor estándar error para la estimación de proporción forestal pero no era tan alejado de los demás. Concluyendo que los mapas basados en imágenes satelitales incrementan la precisión de la estimación de cobertura forestal. [Alexander C. Vibrans et al., 2013]



**Figura 3.7. Estimaciones de cobertura forestal.**

**[Alexander C. Vibrans et al., 2013]**

Estimaciones de cobertura forestal para Santa Catarina que muestra los métodos (Aleatorio de estimación junto con los mapas de estimaciones).

### 3.1.5 Método de procesamiento de imágenes

Este método consiste en calcular el área de una superficie mediante la relación del número de píxeles sobre su medida real. Es decir dentro una superficie plana limitada donde reposa un objeto de dimensiones desconocidas junto con otro objeto de dimensiones conocidas, al tomar una imagen a una altura conveniente se puede deducir que los píxeles de los objetos son proporcionales a sus medidas reales y como se tiene un objeto de referencia con dimensiones conocidas podemos calcular las dimensiones de otro objeto desconocido, este método requiere de procesamiento de imágenes para poder determinar los píxeles y los límites de los objetos.

#### A. Características

- Requiere de una cámara para poder obtener las imágenes.
- El procesamiento de imágenes se realiza en un computador.

- Se debe calibrar el método antes de utilizar.

#### B. Ventajas

- No requiere de muchos recursos para el cálculo.
- La implementación y el cálculo es rápido.
- Tiene una precisión mayor del 95 %. [Georgi Kostadinov et al., 2014]
- Obtener imágenes como pruebas de la medición.

#### C. Desventajas

- Se debe tener conocimiento de tratamiento de imágenes.
- El método de calibración puede ser tedioso dependiendo del campo de la aplicación.

### 3.1.6 Casos de estudio del Método de Procesamiento de Imágenes.

#### A. Medición del área de una hoja vegetal usando una cámara digital.

El área de las hojas de plantas es uno de los más importantes parámetros en los estudios ambientales y ecológicos. El estudio propuso utilizar procesamiento de imágenes para obtener la medida del área que consistió en utilizar un papel blanco de 10 x 10 cm que a su vez fue contabilizado esas dimensiones en pixeles usando el software Photoshop. Luego seleccionaron 30 hojas llamadas "Japan Euonymus" de diferentes formas y fueron puestas sobre el papel una por una, para luego obtener sus pixeles [Baisong Chen et al., 2011]. Del cual obtuvo esta relación:

$$\frac{S_L}{S_B} = \frac{N_L}{N_B} .$$

**Figura 3.8. Relación de áreas y pixeles.**  
[Baisong Chen et al., 2011]

Donde:

SL: Área en cm cuadrados de la hoja

SB: Área en cm cuadrados del papel (10cm x 10cm)

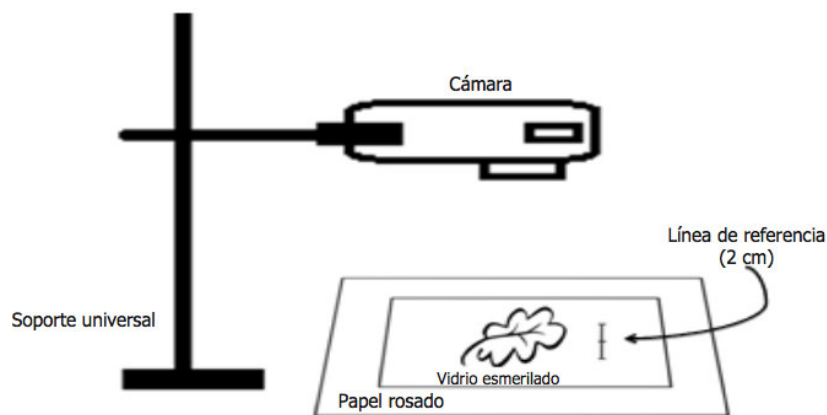
NL: Numero de pixeles de la hoja

NB: Numero de pixeles del papel

Finalmente, utilizando esta ecuación se calculó el área de cada hoja respectivamente.

- B. Determinación del área foliar a través de fotografías tomadas con una cámara web, un teléfono celular o una cámara semi profesional.

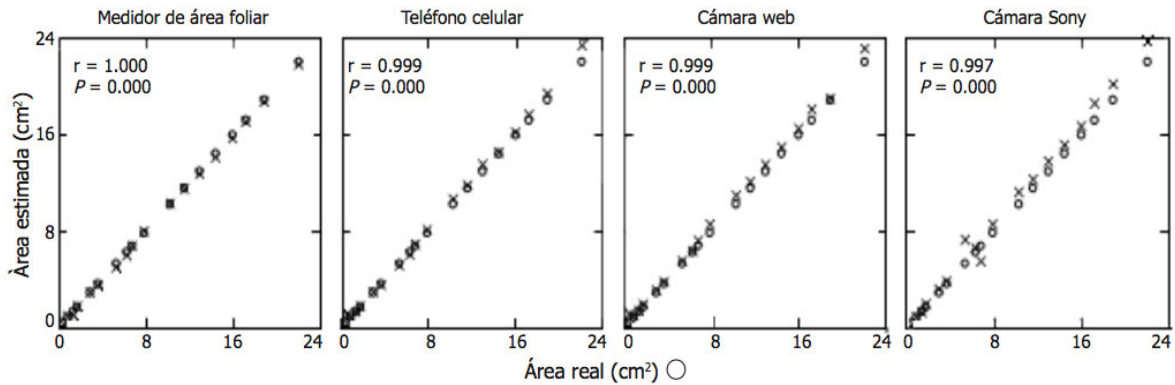
En este estudio, utilizaron el mismo método, pero implementado de una manera diferente lo cual consistió en utilizar una línea de 2cm como referencia para el cálculo del área de las hojas [Georgi Kostadinov et al., 2014], como vemos en la imagen.



**Figura 3.9. Componentes del estudio foliar.**

**[Georgi Kostadinov et al., 2014]**

Y el software para el cálculo de los pixeles fue ImageJ (versión 1.45). Se comparó las medidas que se obtuvo de diferentes cámaras: Teléfono celular, cámara web, cámara Sony contra un medidor de área foliar que concluyo que el uso de cualquier cámara contribuyo a obtener imágenes adecuadas para la determinación del área foliar.



**Figura 3.10. Relación de valores del área foliar por cada cámara.**  
**[Georgi Kostadinov et al., 2014]**

La gráfica muestra valores de área real de cuadrados de área conocida y valores de área obtenidos al usar diferentes equipos de medición. Los símbolos x y o representan las áreas obtenidas con cada equipo de medición y área real respectivamente.

### 3.2 Criterios de comparación entre metodologías

En este punto se define el conjunto de criterios y su nivel de importancia para poder realizar una comparación entre los métodos mencionados en el punto anterior.

#### 3.2.1 Costo

La cantidad de dinero requerida para adquirir o usar las herramientas necesarias en cada metodología.

##### A. Bajo

representa la cantidad de dinero menor a S/. 4 000 donde está simbolizado como 3.

##### B. Medio

Representa la cantidad de dinero entre S/.4 000 y S/.10 000 donde está simbolizado como 2.

##### C. Alto

Representa la cantidad de dinero mayor a S/10 000 donde está representado como 1.

### **3.2.2 Tiempo**

El tiempo necesario para calcular un área de 200 metros cuadrados en cada metodología

A. Bajo

Representa el tiempo menor a 3 minutos donde está simbolizado como 3.

B. Medio

Representa el tiempo entre 3 minutos y 6 minutos donde está simbolizado como 2.

C. Alto

Representa el tiempo mayo a 6 minutos donde está simbolizado como 1.

### **3.2.3 Precisión**

Es el porcentaje de presión para el cálculo de un área de 200 metros cuadrados en cada metodología.

A. Bajo.

Representa el porcentaje de precisión menor al 80% donde está simbolizado como 1.

B. Medio

Representa el porcentaje de precisión entre el 80% y el 90% donde está simbolizado como 2.

C. Alto

Representa el porcentaje de precisión mayor al 90% donde está representado como 3.

### 3.2.4 Tipo de tecnología

A. Tecnología abierta.

Se encuentra simbolizado como 1.

B. Tecnología cerrada.

Se encuentra simbolizado como 0.

### 3.2.5 Datos recolectados en campo

A. Si.

Simbolizado con 1.

B. No.

Simbolizado con 0.

### 3.3 Cuadro comparativo entre metodologías y resultados.

Cuadro comparativo entre metodologías			
<i><b>Críterios</b></i>	<i><b>Método del GPS</b></i>	<i><b>Método con imágenes satelitales</b></i>	<i><b>Método de procesamiento de imágenes</b></i>
<b>Costo</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Bajo</b>
<b>Tiempo</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Bajo</b>
<b>Precisión</b>	<b>Bajo</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>
<b>Tipo de tecnología</b>	<b>Tecnología Cerrada</b>	<b>Tecnología Cerrada</b>	<b>Tecnología Abierta</b>

<b>Datos recolectados en campo</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>Si</b>
	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>11</b>

**Tabla 3.1 Cuadro comparativo de metodologías para calcular área superficial.  
[Elaboración Propia]**

Según el cuadro comparativo, se concluye que el método de procesamiento de imágenes cumple todos los requerimientos para el contexto específico de la problemática, ya que presenta una mayor precisión, bajo costo, libre acceso y flexibilidad para poder desarrollarlo e implementarlo.

Entonces a partir de aquí debemos, investigar que tecnologías son necesarias para el método propuesto y cual de todas sería la más beneficiosa.

### **3.4 Revisión de vehículos aéreos no tripulados**

En este punto vamos a destacar las ventajas y desventajas que presentan diferentes “drones” (con este término nos referimos a los vehículos aéreos no tripulados) que han sido aplicados a la obtención de imágenes aéreas, altura y GPS; y su transmisión de datos, ya sea en tiempo real o no.

#### **3.4.1 AR Drone 1 para el campo de agricultura de precisión.**

Este Drone es un cuadricóptero desarrollado por la empresa Parrot, esta herramienta se utilizó para obtener diferentes imágenes aéreas a través de la cámara GoPro Hero 2, Pero también se puede incorporar otras cámaras para obtener otro tipo de imágenes como por ejemplo, imágenes de banda visible, infrarrojo cercano y térmico para estimar parámetros biofísicos de los cultivos: indica la concentración de xantofila, clorofila, carotenoides y antocianinas; determinación de niveles de stress en los cultivos; determinación de zonas con diferente índice verde; evaluación de daños de cultivos causados por plagas o enfermedades; análisis de cultivos usando imágenes térmicas y entre otras. [C. Diaz, 2013]

Algunas especificaciones técnicas del Drone son:

Dimensiones:



- Con casco: 52,5 x 51,5 cm.
- Sin casco: 45 x 29 cm.

Peso:

- 380 g con la cubierta del casco para exteriores.
- 420 g con la cubierta del casco para interiores.

Velocidad máxima: 5 m/s, 18 km/h.

Altura máxima: Limitado por el alcance de la conexión Wi-Fi entre 50 y 120 metros dependiendo de las condiciones climáticas.

Alcance máximo: Limitado por el alcance de la conexión Wi-Fi.

Autonomía de vuelo promedio: 12 minutos.

Altímetro por ultrasonido:

- Frecuencia de emisión: 40 kHz.
- Alcance de 6 metros utilizado para la estabilización vertical.



**Figura 3.11. Imagen de un AR Drone 1.**

**[C. Diaz, 2013]**

Las desventajas del Ar Drone1:

- La implementación de sensores o microcontroladores en él están delimitados por el tamaño y el diseño cerrado del Drone.

- Los datos calculados por el Drone se envían en una frecuencia única de radio, por ser privado su software.
- Su tiempo de vuelo es relativamente bajo.
- La altura de vuelo es delimitada por la cámara GoPro Hero 2.

### **3.4.2 Vulcan Hexacopter para la investigación de fotogrametría con drones**

Esta tesis trato de identificar un medio para la planificación de vuelo de un Drone para que inspeccionar especificas áreas y dar un análisis detallado de como optimizar la inspección. Con la expansión del mercado de UAV comercial y también en el uso personal, hay una gran cantidad de paquetes personalizados para adaptarse a diferentes presupuestos, aplicaciones y niveles de experiencia. Indica que en el mercado los precios van desde \$ 300 a más de \$ 100.000. La diferencia entre los sistemas de diferentes precios puede ser el tiempo de batería, rango o la precisión de un sistema o software en vuelo. La investigación se basó en el Vulcan Hexacopter (1.08m de diámetro de fibra de carbono) que fue comprado por la Universidad de Newcastle, NSW, Australia por aproximadamente \$ 15.000 AUD. El rendimiento de la Vulcan Hexacopter ofrece salida precisa para un dispositivo de gama media. [M. Wade, 2014]

Después que se encontraron relaciones entre los aspectos variables de un UAV y un programa simple, WADE\_flight2014, que fue desarrollado para permitir a un usuario seleccionar un área utilizando un programa de mapeo ampliamente disponibles, tales como GoogleTM tierra. Se Seleccionó una cámara para adjuntar a la Hexacopter, también la selección de la lente (La distancia focal fija está recomendada para obtener mejores resultados) y la selección de una altura mínima de vuelo.

Especificaciones del UVA:

Modelo: SkyHook Mantis 900mm Hexacopter

Fabricador: VulcanUAV Ltd ([www.vulcanuav.com](http://www.vulcanuav.com))

Distribuidor: Ver vulcanuav.com para ver la lista del distribuidor

Tipo: Multi-rotor: Hexacopter

SMALLEST FLYING AREA: baseball infield

IDEAL FOR: intermediate to advanced

FRAME DIAMETER: 900mm

READY-TO-FLY WEIGHT: 17 lb., 8 oz. (with Zenmuse and Panasonic camera)

Radio: 6-channel minimum, 8+ channels recommended

Bateria: 22.2v 6s 8000-12000mAh 25C



**Figura 3.12. Vulcan 900mm SkyHook Hexacopter. [M. Wade, 2014]**

### **3.4.3 XL Hexacópter para el monitoreo de canales de río – calibración y comparación con la tecnología Lidar**

El lugar de la investigación en canal La Pallière, Francia. Donde se utilizó el HexaXL (MikroKopter), donde se les integro dos cámaras: Sony NEX7 y Sony RX1. El RX1 produce mejores imágenes con buena nitidez para la investigación, este proceso de la adquisición de las imágenes se realizó en fases diferentes. Es decir, primero definían el plan de vuelo sobre el canal, una vez que el dron haya finalizado el vuelo, se extraen todas las imágenes de la cámara para luego hacer un

procesamiento fotogramétrico [V. Tournadre et al., 2014]. Se dieron cuenta que tenían que hacer algunos ajustes necesarios para obtener una mayor calidad, pero en comparación con la tecnología LIDAR mostraron que estos no son confiables ya que algunos cambios no reflejan una mejoría de la Data. Sin embargo, las mediciones hechas por el dron estaban en el rango permitido, pero tenían seguir mejorando.

**Especificaciones del dron:** XL Hexakopter (MK Hexa XL)

Tiempo de Vuelo: Hasta 40 minutos.

Carga máxima: 1,5kg.

Peso del dron: 2200g Incluido el soporte de la cámara, pero sin la cámara.



**Figura 3.13. XL Hexakopter MK HEXA XL – Microcopter. [V. Tournadre et al., 2014]**

#### **3.4.4 Conclusiones**

Dada las investigaciones realizadas, podemos determinar que en la actualidad existe una gran comunidad de drones, en las cuales se implementan diferentes tipos de acuerdo a tiempo de vuelo, peso, maniobrabilidad, flujo de comunicación, software de vuelo, facilidad de integrar nuevos artefactos de medición, baterías, altura de vuelo y resistencia en el aire; todos estas variables son configurables en la construcción del dron, cabe recalcar que debemos saber previamente la aplicación a la cual se va dar uso.

### **3.5 Revisión de casos de estudio de telemetría**

En este punto mencionaremos los trabajos referentes a este tema que nos ayudaron a conocer las diferencias entre los distintos tipos de telemetría que existen, cuáles son las razones para usar telemetría y de que forman lo emplean.

#### **3.5.1 Telemetría con Arduino y Shield 3G-GPS**

El objetivo principal del trabajo es el diseño de un dispositivo electrónico basado en la plataforma Arduino capaz de realizar telemetría en tiempo real a través de internet utilizando un Shield con tecnología 3G+GPS. Para ello en primer lugar fue necesario diseñar y programar la etapa de adquisición de datos procedentes de diferentes sensores, tanto analógicos como digitales, así como la geolocalización. Para luego implementar un procedimiento de empaquetamiento y entramado óptimo de la información, teniendo en cuenta el compromiso entre volumen de datos, ancho del canal, tasa de errores, etc. Finalmente, se diseña la capa de comunicaciones, analizando los protocolos más eficientes para su plataforma, para la transmisión de los datos adquiridos a través de Internet mediante un módem 3G. De esta manera es capaz de aplicar el prototipo a una aplicación concreta, en este caso una motocicleta de competición. [P. López, 2014]

Gracias a esta tesis el autor desarrolla el proyecto haciendo mención el uso del Arduino y telemetría como el núcleo de todo, se deduce que Arduino es la opción ideal para desarrollar el proyecto propuesto. Se menciona además las distintas formas de comunicación con Arduino y finalmente señala un modelo desde la captura hasta la transmisión.

#### **3.5.2 Sistema de seguridad vehicular**

Este sistema de seguridad debe estar en capacidad de notificar al dueño de forma remota vía celular, cuando ésta es activada; Además proporcionar la habilidad de controlar el vehículo a distancia. El sistema de seguridad que se tuvo bajo estudio, ha demostrado desde su definición y actual implementación ser eficiente en cuanto al aprovechamiento de recursos de radio se refiere y ha satisfecho de cierta forma las velocidades del usuario en cuanto a cobertura e información del sistema a controlar en tiempo real. Basándonos en la velocidad de transmisión que se desea ofrecer al usuario, el sistema de seguridad vehicular que se va a proporcionar, obtiene el mayor porcentaje de eficiencia posible. [Y. Bedoya et al., 2013]

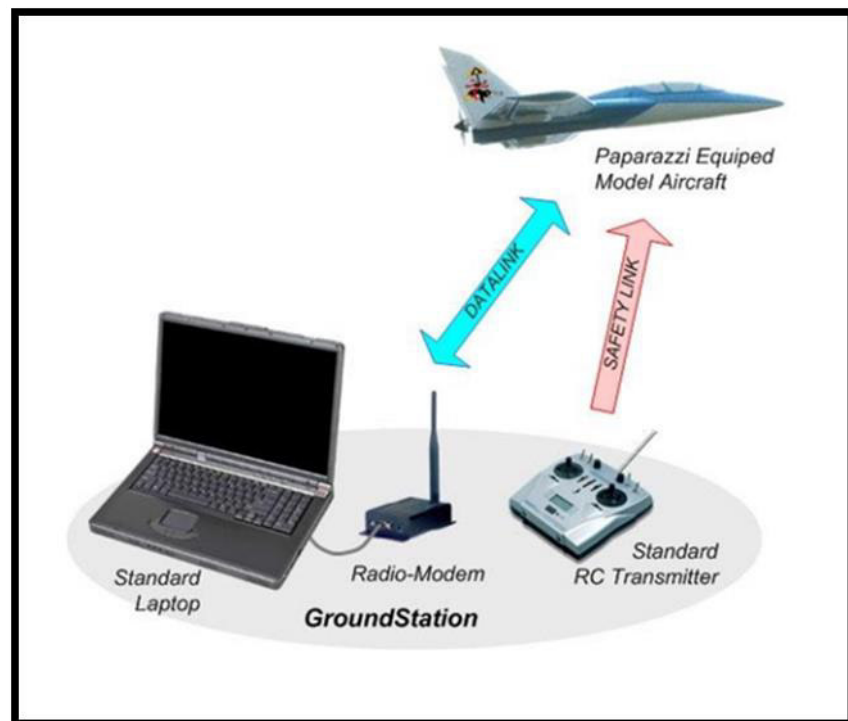
Esta tesis se deja como base para futuros estudios y extrapolaciones de este método para sistemas celulares o de redes inalámbricas de nuevas generaciones cuyo funcionamiento sea similar o controlado a través de redes GPRS. [Y. Bedoya et al., 2013]

En este proyecto nuevamente se utiliza una placa Arduino con un shield GSM donde se le enviara información al dueño del vehículo en tiempo real, si ocurre algún robo o adulterio sobre su vehículo a través de un mensaje de texto, lo que destacamos de este proyecto es el uso del Arduino por parte del autor y el envío de datos que lo realiza desde lugares muy lejanos.

### 3.5.3 Uso de telemetría con drones

Se propone un sistema de adquisición de imágenes a bajo costo enfocado en la amazonia peruana usando vehículos aéreos no tripulados [L. Bendayan, 2011]; lo que utilizamos de proyecto es la arquitectura propuesta por el autor, ya que es una comunicación inalámbrica:

- Entre la plataforma de vuelo (UAVs) y la estación de control (comando de control de vuelo), gracias a la telemetría, para más información dirigirse a [L. Bendayan, 2011].
- Entre la plataforma de vuelo (UAVs) y la estación de monitorización de imágenes(laptop), gracias a un enlace de datos.



**Figura 3.14. Arquitectura del sistema de adquisición remota de imágenes. [L. Bendayan, 2011]**

**A. Enlace de telemetría**

En el documento mencionan que es una comunicación inalámbrica, basado en la comunicación por paquetes, tecnología superpuesta a la infraestructura GSM pudiendo transmitir los paquetes vía radio. Una ventaja de esto es una conexión permanente entre la plataforma de vuelo (UVAs) y la estación de control. [L. Bendayan, 2011]

**B. Enlace de datos**

Este tipo de enlace utiliza el protocolo 802.11, es lo que todos nosotros conocemos como Wifi, conexión inalámbrica local. La velocidad de transmisión varía según cada especificación del hardware, presenta un rango de 11-54 Mbps; El alcance varía por la potencia de transmisión y el medio de propagación. [L. Bendayan, 2011]

### **3.6 Revisión de casos de estudio de procesamiento de imágenes**

En esta subsección se necesita comparar diferentes herramientas de procesamiento de imágenes, esto con la finalidad elegir la más adecuada para la solución propuesta, debido a que la información principal son las imágenes aéreas. A continuación, mostramos diversos trabajos de procesamiento de imágenes que tienen como campo de acción la ciudad.

#### **3.6.1 Visión artificial en tiempo real para seguimiento de vehículos utilizando OpenCV.**

Este artículo está dedicado a detectar y contar los vehículos en ambiente oscuro utilizando información de los faros. La idea básica es usar relación de variación en espacio de color para detectar la iluminación subterránea obtenida de la cabeza de iluminación de vehículo. Entonces, la clasificación de los faros proporciona la información de los faros para determinar la región de objetos en movimiento y compensación de píxeles, que son erróneamente clasificados como

iluminación del suelo, de vuelta a la máscara de objeto. Además, la sombra es posiblemente detectado por reglas de predicción y luego excluido para derivar mejores resultados de la segmentación del vehículo y su conteo. [N. Uke et al., 2013]

En esta investigación, las regiones de vehículos detectados serán clasificadas como vehículos ligeros, vehículos pesados y motocicletas. Creamos un registro de un archivo de texto que da los siguientes datos.

- Número de Detectado Vehículos ligeros
- Número de Detectado Vehículos Pesados
- Número de motocicletas detectados
- Número total de vehículos detectados
- El tiempo y fecha de grabación

Estos archivos de registro se almacenan en un orden particular en dispositivo de almacenamiento secundario, dependiendo de la fecha.

El objetivo principal del sistema es detectar los momentos de los vehículos mediante el análisis de imágenes de la cámara con la ayuda de visión artificial. El Proceso de conteo de vehículos acepta video desde una sola cámara y detecta los vehículos en movimiento y los que cuenta. La detección de vehículos y sistema de conteo en la carretera se desarrolla utilizando la imagen OpenCV kits de desarrollo.

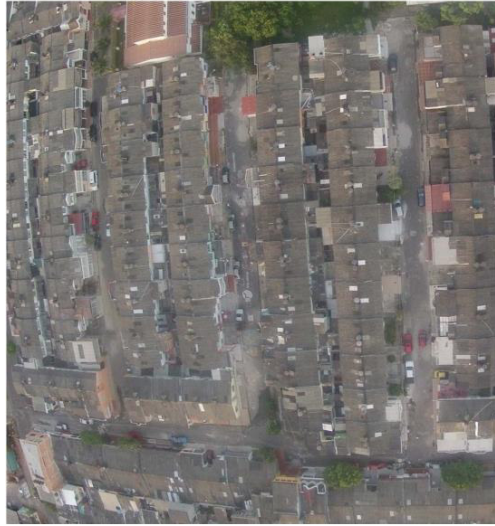
Como podemos darnos cuenta OpenCV tiene una gran cantidad de algoritmos de procesamiento de imágenes, de las cuales nos ayudara mucho en el mejoramiento de la calidad de las imágenes tomadas por un dron.

### **3.6.2 Visión artificial implementado en una laptop para imágenes aéreas captadas desde un dron.**

Esta tesis de pregrado desarrollo un software de visión artificial para la captura y visualización del flujo de video enviado por un dron. Este desarrollo se apoya en la librería de OpenCV bajo el sistema operativo Debian 6, un compilador GCC 4.7 y el Eclipse Juno. Las imágenes capturadas por la cámara Gopro Hero 2 presentan distorsión radial o efecto barril, esto se debe a que la



cámara cuenta con un lente gran angular para poder captar una mayor imagen, la distorsión hace que los objetos se vean deformados a los extremos, especialmente las construcciones, ventanas, todos aquellos que posean líneas rectas, esta distorsión es común en distancias focales cortas, para corregir la distorsión se utilizó la herramienta Open Source Gimp, finalmente el área útil de la imagen capturada, donde las distorsiones geométricas son mínimas es la zona central de la imagen. [C. Diaz, 2013]



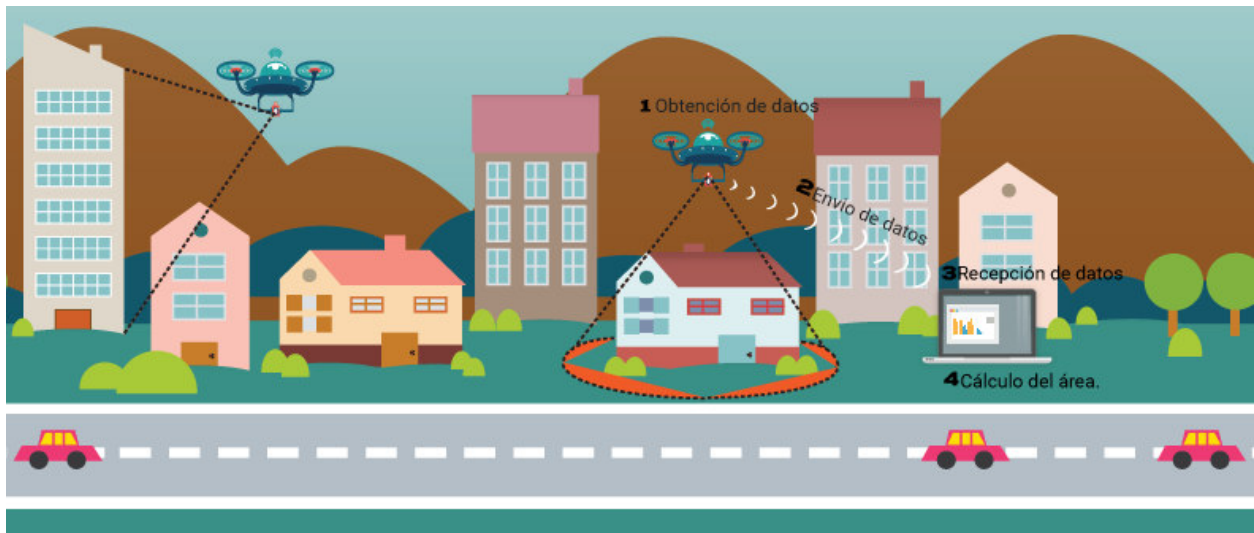
**Figura 3.15. Imagen tomada desde el ArDrone con una cámara GoPro Hero 2  
Villavicencio – Meta, 2012. [C. Diaz, 2013]**

## Capítulo 4: Aporte Teórico

En este capítulo se hace mención de las herramientas que se han empleado, la metodología a seguir, las bibliotecas y algoritmos que fueron utilizadas como también la integración de los módulos.

### 4.1 Esquema general de la solución

En esta sección abarcaremos una visión general del funcionamiento del sistema para el cálculo de áreas a través de imágenes que llamaremos **LAM (LAND AREA MEASUREMENT)**.

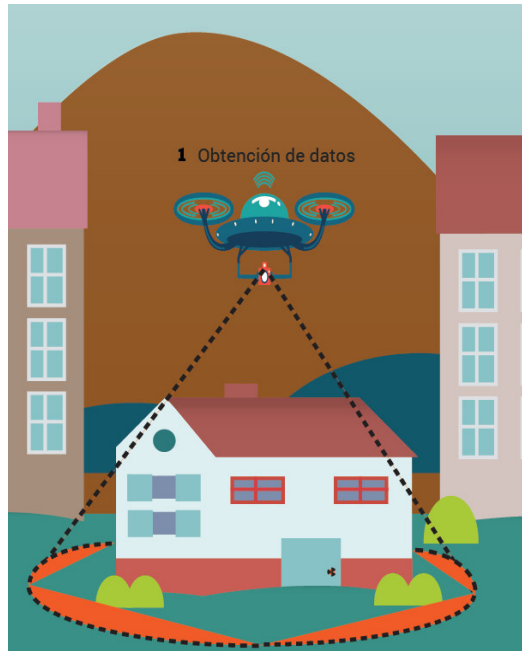


**Figura 4.1 Esquema general de la solución del proyecto de tesis. [Elaboración propia]**

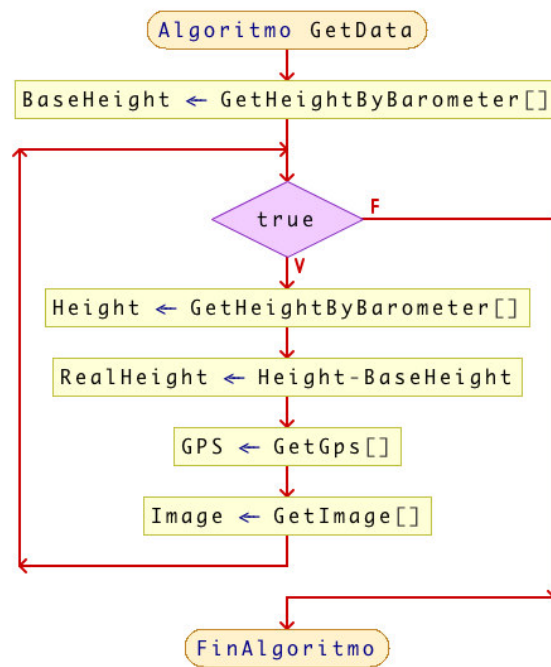
#### 4.1.1 Proceso de obtención de datos

Este proceso tendrá como finalidad obtener los datos siguientes: Fotografía de un predio, Altura de la fotografía, GPS del lugar.

Estos datos se obtendrán a partir de una cámara, GPS y un barómetro que estarán acoplados a un dron. Al momento de tomar la fotografía del predio a medir, el predio debe localizarse en el centro de la imagen lo más posible.



**Figura 4.2. Esquema de obtención de datos. [Elaboración propia]**



**Figura 4.2. Algoritmo de obtención de datos. [Elaboración propia]**

#### 4.1.2 Proceso de envío de datos

Una vez obtenido los datos de la altura, fotografía y GPS se deben incorporar con equipos telemétricos necesarios para el envío de la información hacia el computador.



Figura 4.3. Esquema de envío de datos. [Elaboración propia]

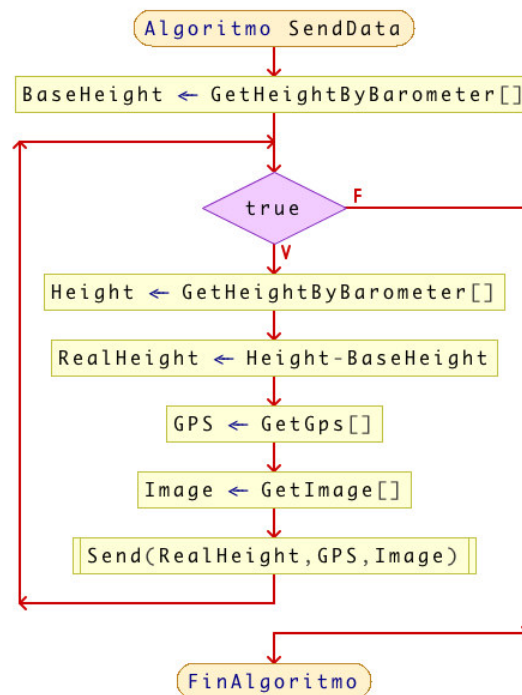


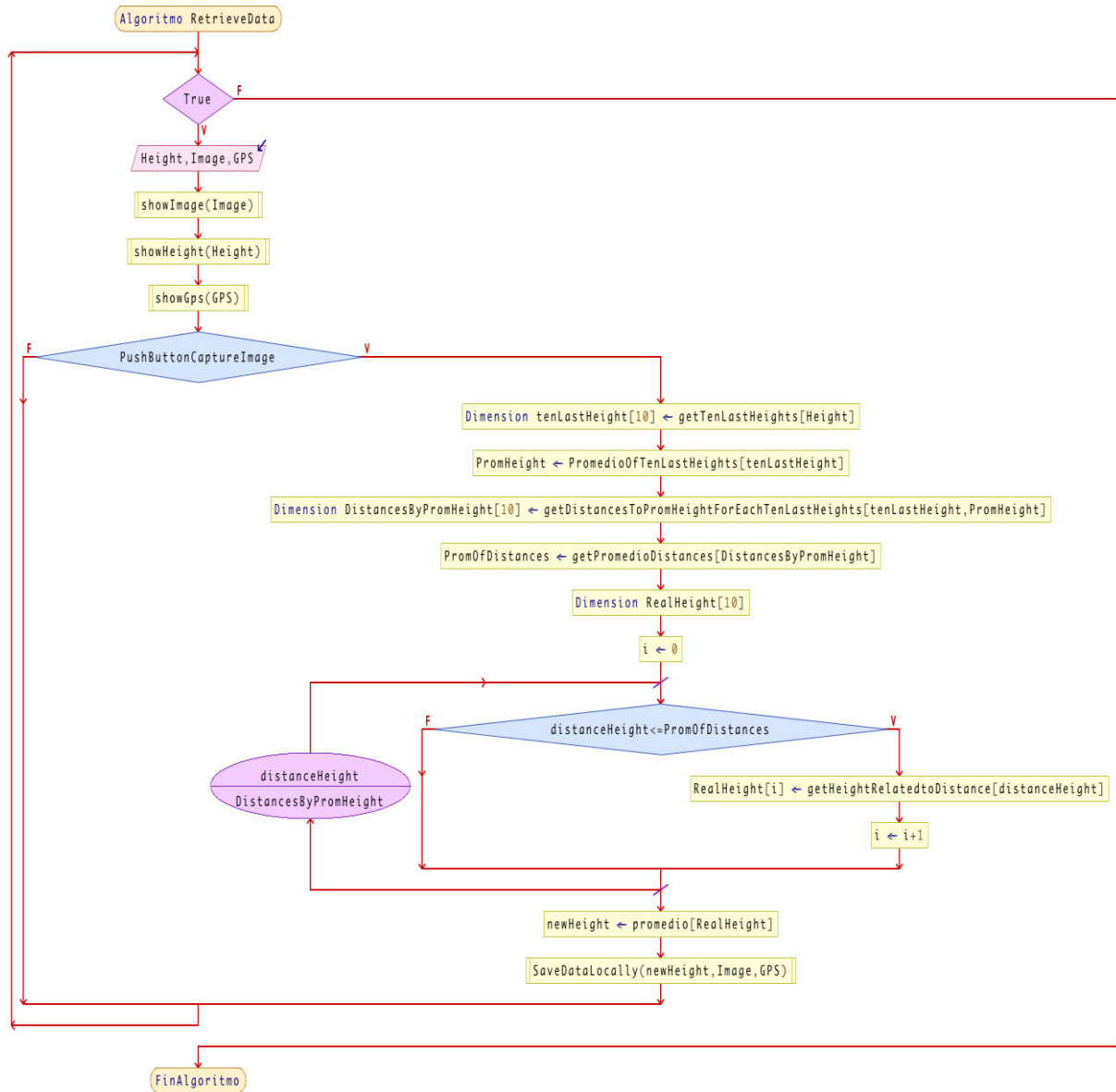
Figura 4.4. Algoritmo de envío de datos. [Elaboración propia]

### 4.1.3 Proceso de recepción de datos

Para recibir los datos enviados se adicionarán a la laptop componentes de Receptores de Radio y librerías que permitan trabajar con esos receptores.



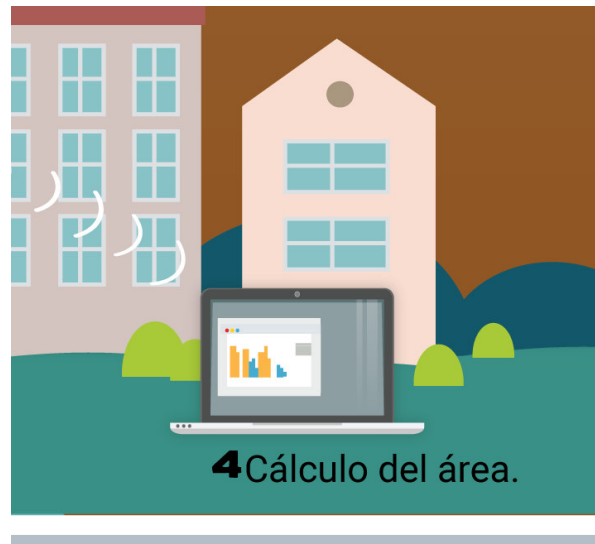
**Figura 4.4. Esquema de recepción de datos. [Elaboración propia]**



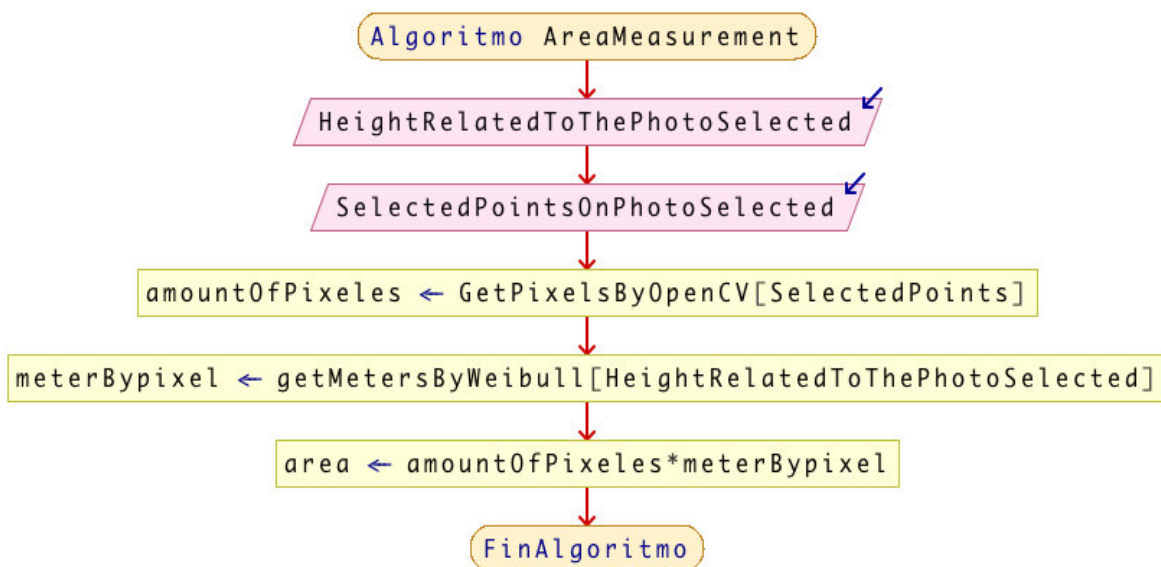
**Figura 4.4. Algoritmo de recepción de datos. [Elaboración propia]**

#### 4.1.4 Proceso de cálculo de área

Una vez obtenidos los datos en la laptop, se procederá al cálculo del área deseada por el usuario fiscalizador utilizando las imágenes obtenidas.



**Figura 4.5. Esquema de cálculo del área. [Elaboración propia]**



**Figura 4.5. Algoritmo del cálculo del área. [Elaboración propia]**

## 4.2 Selección de las herramientas tecnológicas

Dividiremos esta sección en 2 grupos y las que son de hardware y software, haciendo mención de cada herramienta escogida para este proyecto.

### 4.2.1 Herramientas de hardware

#### A. Drone Dji F550

Se eligió a un dron F550 Dji debido a los siguientes parámetros son: La maniobrabilidad del vehículo, altura de vuelo a distancias relativamente cortas, el tamaño del vehículo debe ser pequeño, debe tener capacidad de integración e instalación con otros dispositivos. Además, que es relativamente económico frente a otros UVA's, la elección de este dron también se debió por la prestación de servicios del laboratorio de IOT de la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Especificaciones del F550 DJI:

- Fully Assembled DJI F550 GPS Drone (w/ NAZA V2 GPS System)
- RadioLink 2.4Ghz AT9 Radio System w/ R9D 9-Ch Receiver
- 14.8V 4000mah 30C Li-Po Battery
- 4pcs Clockwise Blade Propeller (1 of them are spare parts)
- 4pcs Counter-Clockwise Blade Propeller (1 of them are spare parts)
- SKYRC E4 Battery Charger
- Battery Voltage Display



**Figura 4.6. Drone Dji F550. [H. Naza Drone, 2017]**

#### B. Microcontrolador Arduino

Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. El Arduino presenta librerías y componentes perfectos para el procesamiento y envío de información, conjunto perfecto



para trabajar con dron por su gran alcance y su capacidad de datos. [Arduino Ofic. Hardware, 2017]

A continuación, mostramos un cuadro comparativo con las principales características de cada Arduino:

							
Fabricante	Arduino	Arduino	Arduino	Arduino	Arduino	Arduino	Arduino
Modelo	Pro Mini	Nano	Uno	Mega / Mega 2560	Leonardo	Micro	Due
Microcontrolador	AVR Atmega 168 ó 328 8bits	AVR ATmega 168 ó 328 8bits	AVR ATmega 328 8bits	AVR ATmega2560 8bits	AVR ATmega 32u4 8bits	AVR ATmega 32u4 8bits	ARM SAM3X8E Cortex-M3 32bits
Frecuencia	16Mhz	16Mhz	16Mhz	16Mhz	16Mhz	16Mhz	84Mhz
Memoria RAM	2KiB	2KiB	2KiB	8KiB	2.5KiB	2.5KiB	96KiB (64+32KiB)
Memoria EEPROM	1KiB	1KiB	1KiB	4KiB	1KiB	1KiB	0
Memoria FLASH	16 ó 32KiB	16 ó 32KiB	32KiB	128 ó 256KiB	32KiB	32KiB	512KiB
Pines digitales entradas/salidas	14/14	14/14	14/14	54/54	20/20	20/20	54/54
Tensión/corriente pines digitales	3.3v ó 5v 40mA	5v 40mA	5v 40mA	5v 40mA	5v 40mA	5v 40mA	3.3v 3~15mA (130mA entre todos)
Pines analógicos entradas/salidas	6/0	8/0	6/0	16/0	12/0	12/0	12/2
Tensión/resolución pines analógicos	3.3v ó 5v 10bits (1024 valores)	5v 10bits (1024 valores)	5v 10bits (1024 valores)	5v 10bits (1024 valores)	5v 10bits (1024 valores)	5v 10bits (1024 valores)	3.3v 12bits (4096 valores)
Pines con interrupción externa	2	2	2	6	2	2	-
Pines PWM	6	6	6	15	7	7	12
Conexiones Serial / UART	1	1	1	4	1	1	4
Conexiones I2C / TWI	1	1	1	1	1	1	2
Conexiones ISP / ICSP	1	1	1	1	1	1	1

**Tabla 4.1. Comparación de placas Arduino. [P. López, 2014]**

Ahora hemos seleccionado al Arduino Nano de toda la familia Arduino por los siguientes motivos:

- Es posible la vinculación con módulos RF para que pueda realizar la comunicación por radio de forma exitosa.
- Presenta un tamaño pequeño y poco peso, característica necesaria para que se encuentre acoplado al dron.
- Presenta menor precio a comparación de un Arduino Mega o Leonardo.

### C. Dispositivos de telemetría

Como veremos en diversos documentos existen diversos trabajos de telemetría trabajados con Arduino por la facilidad y la diversidad que esta presenta, con Arduino y toda la familia

de Arduino (pcduino) presenta diversas maneras de realizar telemetría, cada una de ellas tiene sus ventajas y desventajas. Un primer descarte que realizamos fue el alcance ya que la solución propuesta requiere necesariamente el alcance mínimo de 20 metros y máximo de 60 metros y el segundo es el ancho de banda el cual se requerirá un ancho de banda de 30b/s, ya que solo obtendremos la altura y la geolocalización de dron.

<b>Modelo</b>	<b>Conexión</b>	<b>Costo</b>	<b>Alcance</b>	<b>Ancho de banda</b>	<b>Conclusión</b>
Bluetooth	UART / SERIE	Relativamente Bajo	6 – 8m.	100Kb/s	Corto Alcance
Wifi	SPI / SERIE	Mediano	50m.	1Mb/s	Interferencias en la comunicación
Zigbee	UART / SERIE	Alto	1 -2km.	100kb/s	Caros y hardware privado
RF	DIGITAL	Bajo	100m.	1Kb/s	Perfecto para pequeñas transmisiones de Datos.

**Tabla 4.2. Comparación de dispositivos de telemetría. [Elaboración Propia]**

Para este trabajo se hará uso de los módulos RF ya que presentan un bajo costos y cumplen con los requerimientos para este proyecto.

Si bien existen bastantes módulos inalámbricos, estos son los que mantienen la relación exacta entre precio y calidad, debido a su pequeño tamaño y fácil programación (sólo requiere una conexión serial) son ideales para cualquier proyecto.

#### D. Cámara

Se puede utilizar cualquier tipo de cámara con buena definición que tenga salida de video AV, la solución propuesta utilizará una Go Pro Hero 3 el cual permite su utilización para

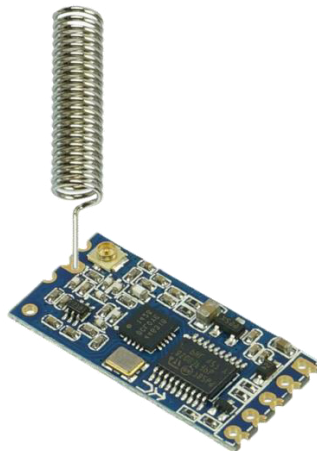
un sistema FPV para la transmisión de imágenes. Además de que el dron F550 presenta un gimbal especializado para una de estas cámaras permitiendo poder capturar imágenes ortogonales hacia la tierra.



**Figura 4.7. Cámara Go Pro Hero 3. [GoPro Hero3, 2017]**

#### E. Módulos RF

Son módulos electrónicos que permiten establecer una conexión unidireccional, es decir donde existe un emisor y receptor. Son conocidos por ser muy pequeños y poseer un costo bajo, además de existir librerías para poder utilizarlo con Arduino.



**Figura 4.8. Módulo RF. [Elaboración Propia]**

#### F. Sistema de video FPV

Para poder transmitir las imágenes de la cámara se utilizará un sistema FPV. Esta sigla significa First Person Video (o Video en Primera Persona). Este sistema se compone de

dos partes: Una cámara y un transmisor instalados a bordo del dron, y un receptor con su respectiva pantalla para poder ver en vivo lo que captura la cámara.

Para el proyecto se usa Boscam Micro 5.8 Ghz Video FPV AV TX RX, el cual nos permite una transmisión de 2km aproximadamente. El receptor del módulo FPV tiene como salida de video conectores RCA pudiendo ser conectado a cualquier monitor. También se debe aclarar que estos sistemas FPV operan en distintas frecuencias de transmisión, siendo la más común hoy la de 5.8 GHz. Lógicamente se debe buscar una frecuencia para tu video que no interfiera con la transmisión de comandos de control o telemetría: Cada conjunto de transmisor y receptor que se utiliza en los sistemas debe operar en frecuencias únicas para que no exista interferencia entre ellos.



**Figura 4.9. Módulo FPV Boscam Micro con una frecuencia de 5.8 GHz.**  
**[Elaboración Propia]**

#### G. Easy Cap

Dispositivo compuesto de 4 cables (RCA y S-video) para conectarlo al cable RCA o S-video que sale de alguna cámara o reproductor y poder conectar este con su puerto USB a tu PC y permitir la digitalización de las imágenes analógicas RCA.



**Figura 4.10. Easy Cap. [Elaboración Propia]**

#### H. Laptop

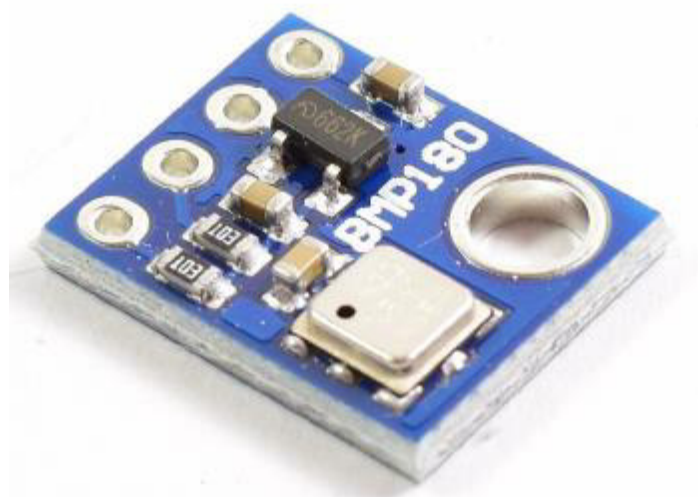
Es un ordenador personal móvil o transportable, que pesa normalmente entre 1 y 3 kg. Los ordenadores portátiles son capaces de realizar la mayor parte de las tareas que realizan los ordenadores de escritorio.

El ordenador que usaremos tiene las siguientes características:

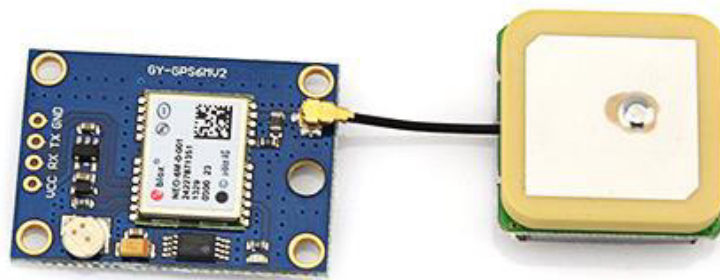
- Procesador Intel Core i7
- 8 GB de RAM
- 1 TB de disco Duro
- 1 GB de video

#### I. Sensores

Los sensores a utilizar son 2, el primero y más importante es el barómetro BMP 180, el cual nos permite obtener la altura de vuelo del dron gracias a la diferencia de presión desde que inicia el vuelo hasta el momento en que se captura una fotografía. Y el otro sensor que utilizamos es el GPS GPS6MV2.



**Figura 4.11. Barómetro BMP180. [Elaboración Propia]**



**Figura 4.12. GPS6MV2. [Elaboración Propia]**

## 4.2.2 Herramientas de Software

### J. OpenCV

Es una biblioteca libre de visión artificial originalmente desarrollada por Intel. Desde que apareció su primera versión alfa en el mes de enero de 1999, se ha utilizado en infinidad de aplicaciones. Desde sistemas de seguridad con detección de movimiento, hasta aplicativos de control de procesos donde se requiere reconocimiento de objetos. Esto se debe a que su publicación se da bajo licencia BSD, que permite que sea usada libremente para propósitos comerciales y de investigación con las condiciones en ella expresadas. Es multiplataforma, existiendo versiones para GNU/Linux, Mac OS X y Windows y contiene

más de 2500 algoritmos optimizados para una gran gama de áreas como el reconocimiento de objetos (reconocimiento facial), calibración de cámaras y entre otros.

#### K. Python

Es un lenguaje de programación interpretado que tiene una gran comunidad mundial de programadores. Se trata de un lenguaje que soporta programación orientación a objetos, programación funcional e imperativa. Además usa tipado dinámico y es multiplataforma siendo administrado por la Python Software Foundation teniendo licencia de código abierto.

#### L. Librería VideoCapture para recepción del video FPV

VideoCapture es una extensión de Python para Win32 que hace posible el acceso a los dispositivos de captura de vídeo (por ejemplo, una cámara web USB). Se compone de un módulo de bajo nivel nativo y un módulo de alto nivel escrito en Python que se debe utilizar exclusivamente.

También se incluyen algunas herramientas que pueden utilizarse para cargar periódicamente imagen Webcam un a un servidor web, monitorear y guardar una imagen en una URL determinada en el disco local, y así sucesivamente. [VideoCapture, 2017]

#### M. Kivy

Kivy es una biblioteca de Python de código abierto para el desarrollo de aplicaciones que hacen uso de interfaces de usuario. Kivy es multiplataforma ya que se puede utilizar en Linux, Windows, OSX, Android y IOS. [Kivy, 2017]

#### N. Arduino IDE

Arduino presenta una plataforma donde a base de lenguaje C se puede generar código y subirlo a una placa Arduino. Esta plataforma está basado en java siendo gratuito y multiplataforma ya que se puede instalar y programar en Linux, Windows e IOS.

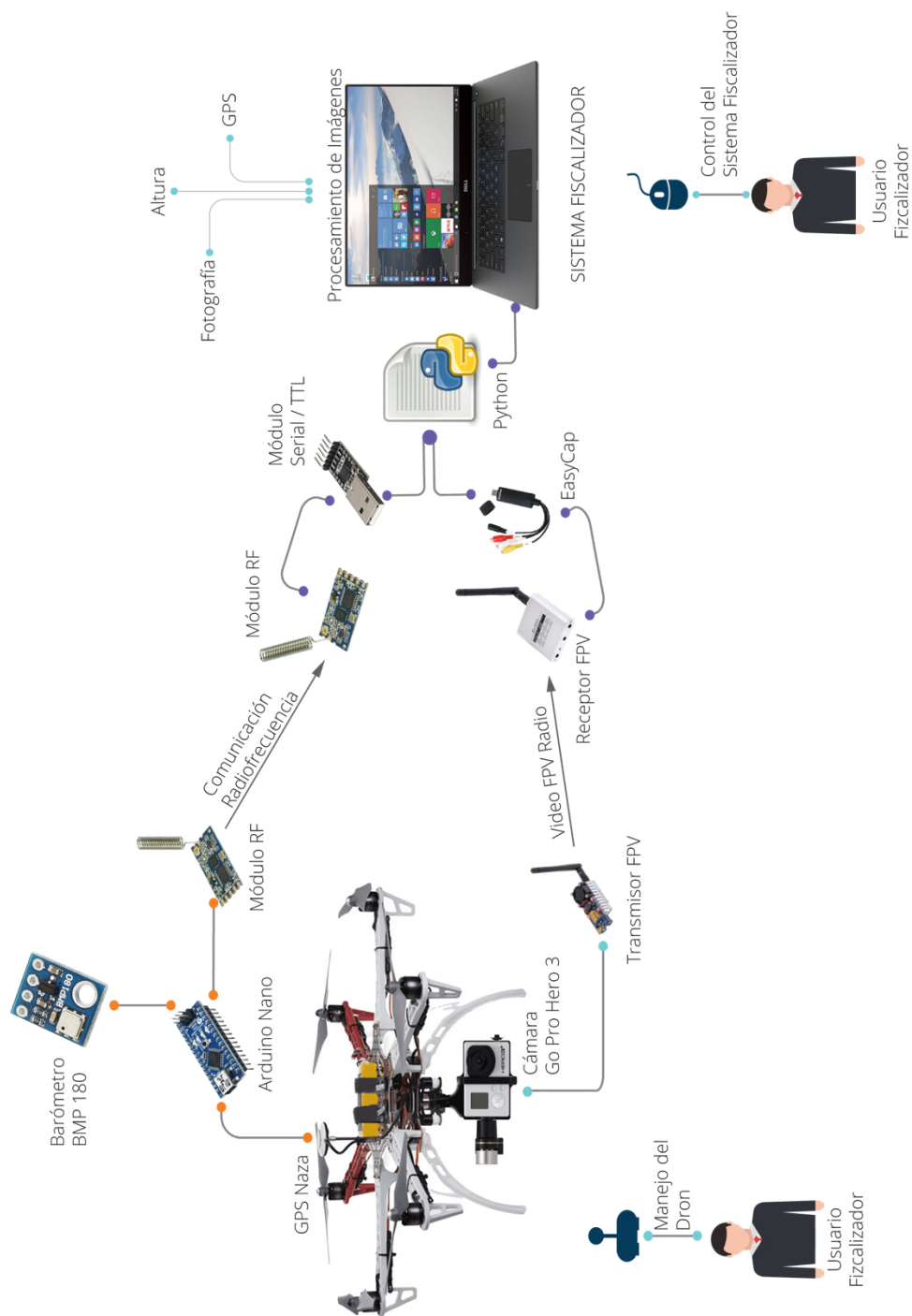
### **4.3 Aplicación de la herramienta tecnológica al problema (poner el esquema general)**

En esta sección explicaremos como se integrarán las herramientas tecnológicas escogidas en el esquema general del funcionamiento del Sistema **LAND AREA MEASUREMENT**. Para mayor entendimiento vamos a explicar modulo por modulo identificando los siguientes:

#### **4.3.1 Esquema general de las herramientas tecnológicas**

A continuación, se va presentar un diagrama general donde se muestra la integración y uso de los componentes para el proyecto, vamos a plasmarlo en una imagen completa de una hoja.





**Figura 4.13. Diagrama General de herramientas tecnológicas. [Elaboración Propia]**

### 4.3.2 Módulo de captura de datos

#### A. Unidad de captura de GPS y Altura

En esta unidad se encuentra el Arduino Nano el cual se encuentra conectado con un sensor de presión (Barómetro BMP 180) para obtener la altura de vuelo del dron ya que es necesario para el cálculo de área de un terreno y un GPS GPS6MV2 para obtener la latitud y longitud del terreno a medir. El código del Arduino para la recepción de altura de vuelo y GPS puede ser revisado en el siguiente enlace.

#### B. Unidad de captura de imágenes

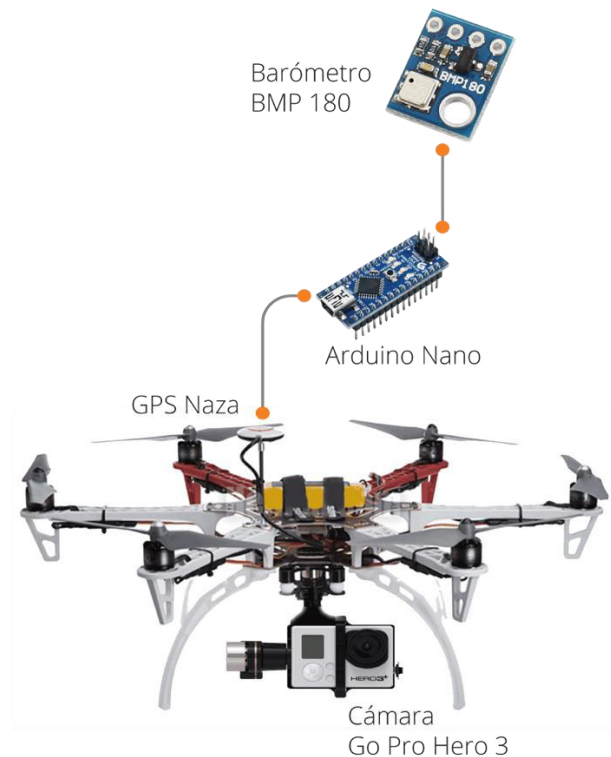
En esta unidad se hace mención a la captura de imágenes gracias a una Cámara GoPro Hero 3 en cual presenta una salida de video AV (esto viene a ser una característica de la mayoría de las cámaras). Todo lo que la cámara está captando a través de su lente se puede visualizar por esa salida.

La cámara GoPro trae por defecto una curvatura en las imágenes capturadas por el lente llamado "efecto ojo de pez", esto no permite tener un buen procesamiento de las imágenes ya que presenta distorsión por lo que se realizó un cambio de lente eliminando la curvatura de las imágenes.

#### C. Unidad de montura en el Dron

En este punto definiremos la integración de la "unidad de captura de datos" y la "unidad de captura de imágenes". En la "La unidad de captura de datos" mencionamos que el Arduino Nano realiza la capturar la altura de vuelo del dron; por lo que para esto el Arduino debe estar montado en el Dron y siendo alimentado por una batería de litio de 11 voltios (también montado en el Dron). Para la "unidad de captura de imágenes" definimos una cámara GoPro Hero 3, está se encuentra montado en un dron gracias a un Gimbal con el cual podremos girar la cámara de manera vertical, este manejo del Gimbal se dará por el mando de control de vuelo. El cable de salida de video de la cámara se conectará al módulo emisor de video FPV que se encontrará montado en el Dron. Los usuarios

fiscalizadores son los encargados del manejo de vuelo del Dron, del manejo de la cámara y del sistema llamado LAND AREA MEASUREMENT (LAM).



**Figura 4.13. Módulo de captura de datos. [Elaboración propia]**

#### **4.3.3 Módulo de envío de datos**

A. Unidad de comunicación por radiofrecuencia.

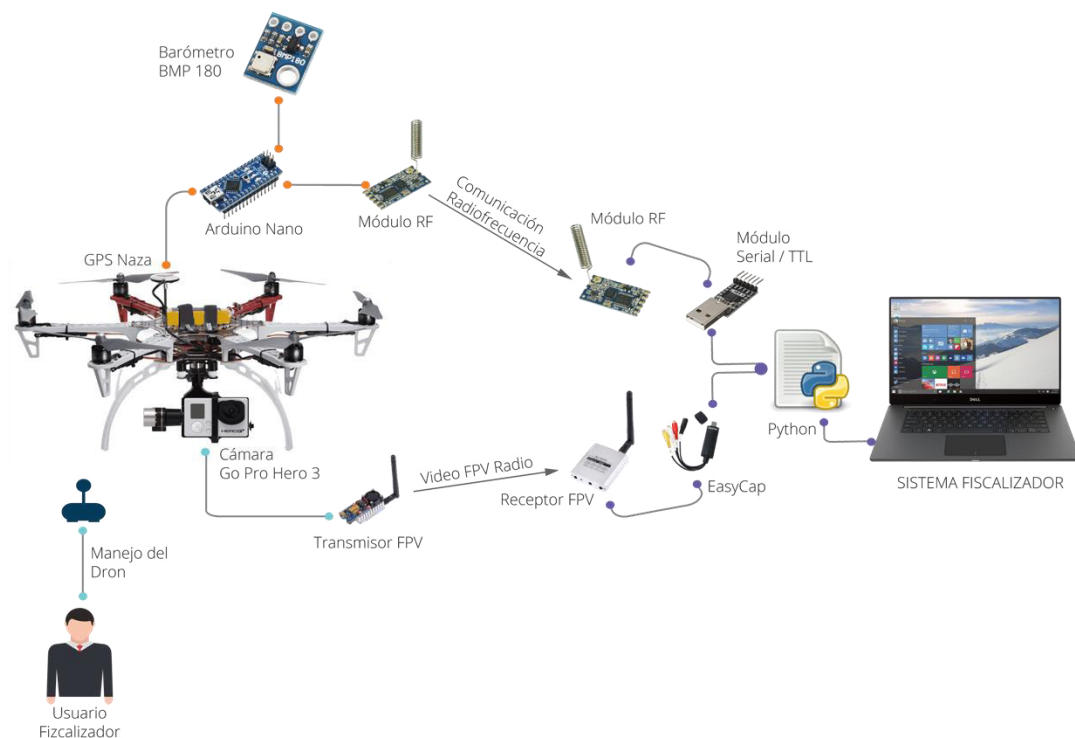
Esta unidad abarca la comunicación entre el Arduino Nano ubicado en el dron y el ordenador para su posterior procesamiento. El Arduino Nano se encuentra conectado con un módulo RF emisor y en el ordenador se encuentra conectado un "modulo serial/TTL", el cual a su vez se encuentra conectado con un módulo RF receptor; En la comunicación por radiofrecuencia el transmisor crea un campo electromagnético enviando una onda

electromagnética que viaja a través del aire al receptor y esté lo decodifica en otro lugar. El módulo serial/TTL permite la digitalización de los datos recibidos por el módulo RF receptor donde al conectarlo con el ordenador asigna un puerto COM para la transmisión de datos.

El Arduino Nano se encuentra programado para que en cada momento envíe información (altura y GPS) a través del módulo Rf emisor, donde posteriormente el módulo RF receptor lo decodifica y esta información es digitalizada por el "modulo serial/TTL" para su uso en el ordenador.

#### B. Unidad de comunicación FPV

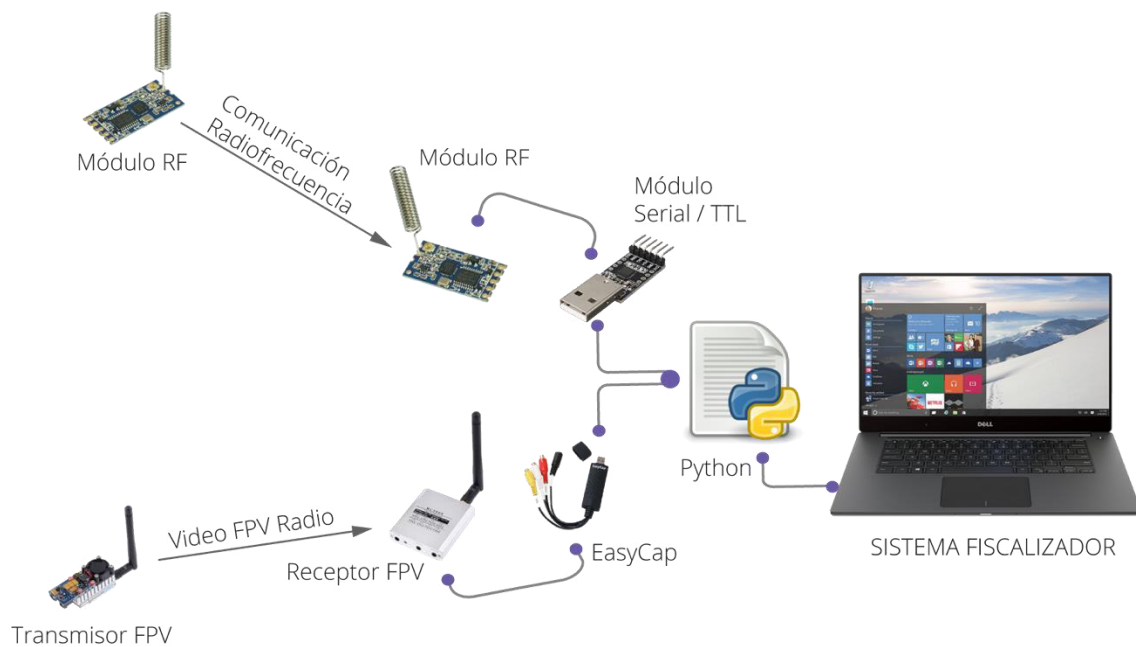
Esta unidad es la comunicación del módulo emisor de video FPV al módulo receptor de video FPV previamente configurados para su comunicación asignándoles el mismo canal, el módulo emisor FPV enviará las imágenes captadas por la cámara a través de ondas de radio y será recibido por el módulo receptor de video FPV; esta comunicación tiene un alcance aproximadamente de 2km. El receptor de video FPV por sí solo no puede ingresar las imágenes al ordenador, ya que presenta salida de video RCA, por lo que se hace uso de un dispositivo llamado "EasyCap" que convierte RCA a salida de video digital por USB; gracias a esto puede ser conectado al ordenador y obtener las imágenes de receptor de video FPV.



**Figura 4.14. Módulo de envío de datos. [Elaboración Propia]**

#### 4.3.4 Módulo de Recepción de datos

Como vimos en los 2 puntos anteriores existen dos flujos de información dependientes uno del otro que se transmiten por ondas de radio, pero se requiere la integración de ambos en un solo sistema para el usuario fiscalizador pueda tratar los datos. Python nos permite realizar esta integración; para la captura de imágenes usa una librería llamada "Video Capture" el cual permite visualizar todo lo que la cámara este captando como si fuera cualquier cámara web en el ordenador. Y por otro lado Python tiene otra librería llamada "PySerial" o "Python Serial" el cual nos permite comunicar a Python con otros lenguajes o sistemas por comunicación serial; con esta librería podemos capturar los datos que son recibidos por el módulo serial/TTL ya que es comunicación serial. Python puede capturar e integrar los datos de ambos flujos de información que son enviados por ondas de radio.



**Figura 4.15. Módulo de recepción de datos. [Elaboración propia]**

#### 4.3.5 Módulo de procesamiento de datos

Como Python presenta diversas bibliotecas para generar interfaces amigables para los usuarios, se usa una de sus librerías más famosas llamada "Kivy", que va servir para desarrollar el sistema de fiscalización con interfaces de usuario para el usuario fiscalizador. Se presentan 2 Sub sistemas en este modulo

##### A. Captura de Imagen y Altura

En este sub modulo Python realiza la captura repetitiva de imágenes que ingresan gracias a la digitalización del dispositivo "EasyCap" por medio de la biblioteca "OpenCV" y de la altura de vuelo del dron recibida por el puerto COM. Tanto la imagen como la altura es mostrada en una interfaz al usuario fiscalizador permitiendo observar en tiempo real lo que visualiza la cámara ubicada en el dron y la altura de vuelo. Maniobrando al dron en

vuelo sobre el predio a calcular el área se captura la imagen ortogonal y la altura de vuelo al cual fue capturada para su posterior cálculo.

#### B. Cálculo de área

Por medio del sub sistema anterior se obtiene la imagen ortogonal del predio a calcular con su respectiva altura de vuelo en metros. Es aquí donde el usuario fiscalizador selecciona los puntos vértices del área que desea calcular; obteniendo un orden anti horario de las coordenadas de los puntos gracias a una biblioteca para Python, con este ordenamiento puede ingresar a una función de Opencv para el cálculo de área en pixeles de los puntos seleccionados. Para convertir el área obtenida en pixeles a mt<sup>2</sup> es necesario tener una referencia de distancia o área en la imagen capturada para realizar una equivalencia; sin embargo, también se puede considerar la altura de vuelo como referencia para conocer cuántos metros cuadrados son equivalentes a 1pixel previa calibración.

Es base a esto último se considera que a una altura de vuelo  $h$ , 1 pixel es equivalente a  $q$  mt<sup>2</sup>.

Por lo que si se obtuvo como área a calcular  $w$  pixeles:

$$\text{Área del predio} = w \times q$$



**Figura 4.16. Módulo de procesamiento de datos. [Elaboración propia]**



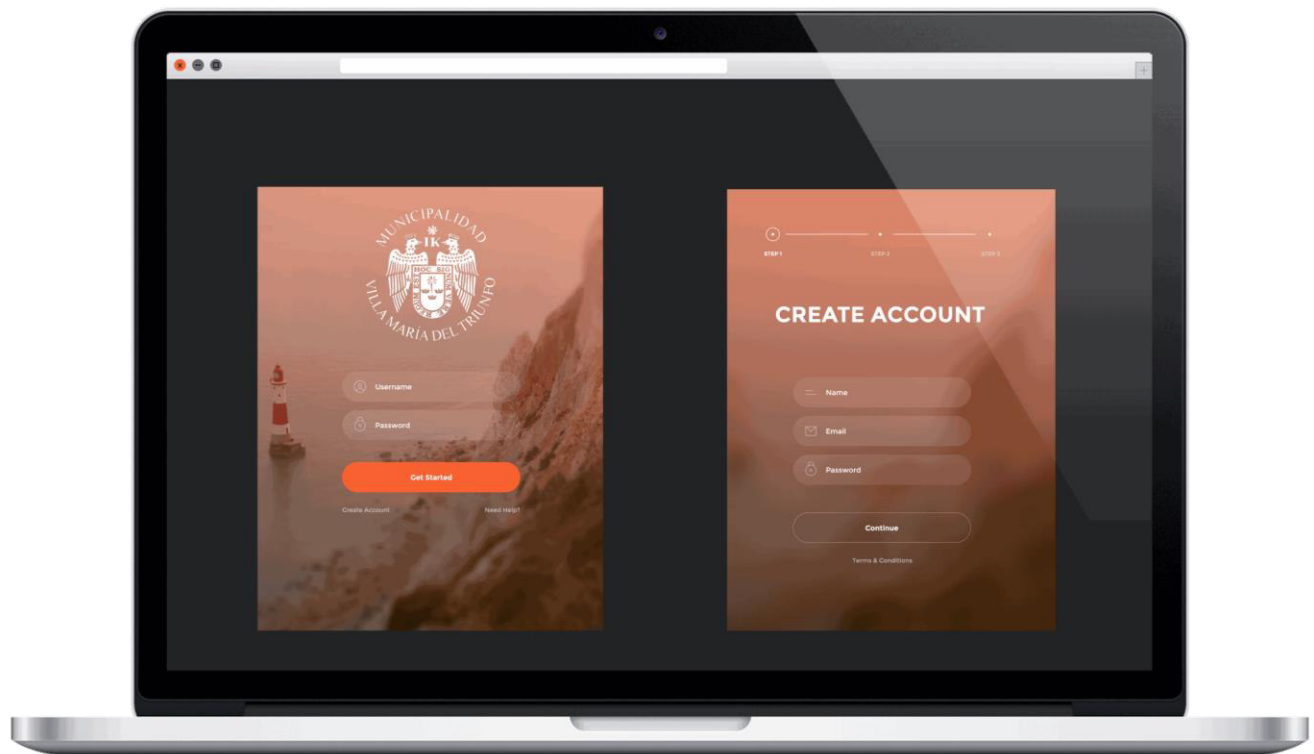
## Capítulo 5: Aporte Práctico

En este capítulo se hace mención de las interfaces de usuario desarrolladas para el sistema, la calibración usada y el caso de estudio.

### 5.1 Interfaces de usuario

En esta parte le mostramos las interfaces que tendría la aplicación, en estos momentos estamos trabajando con la municipalidad de Villa Maria del triunfo, es por eso que se muestra su logo en la aplicación.

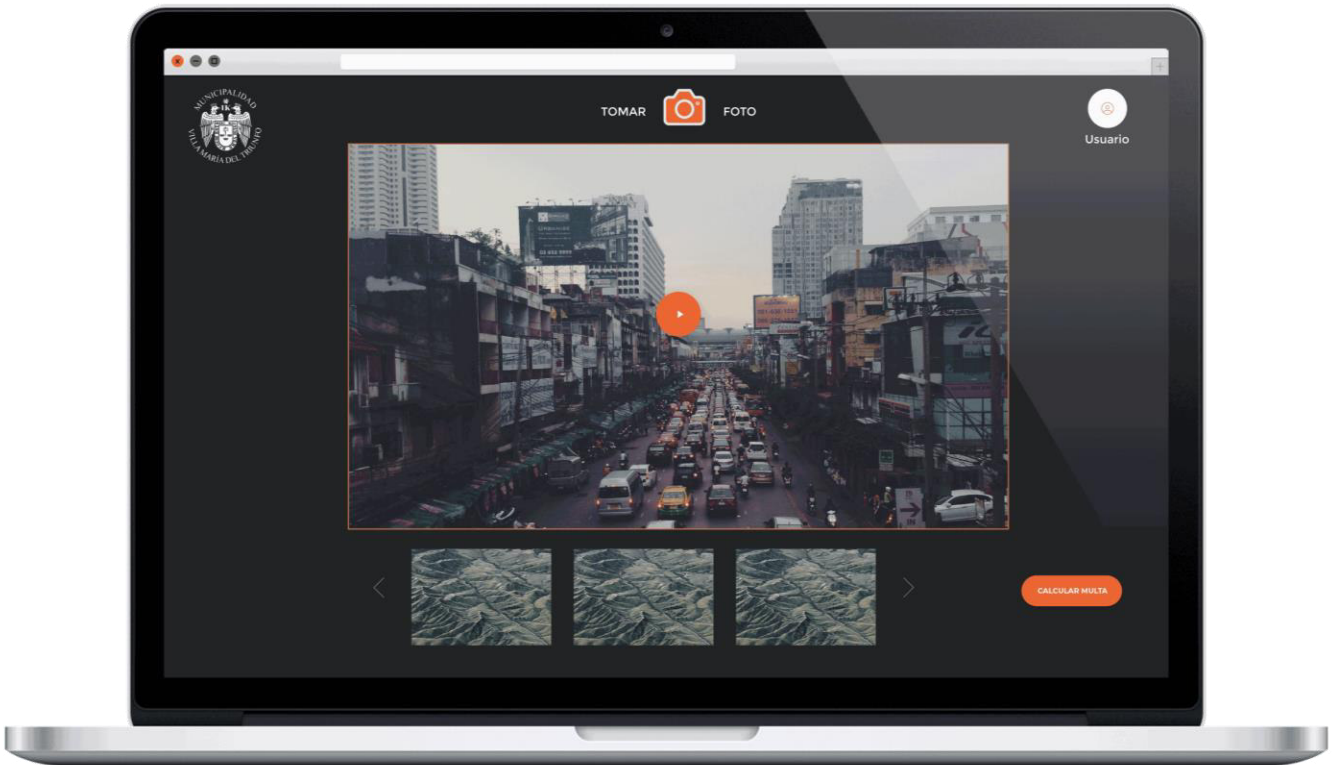
#### INTERFAZ DE INICIO DE SESIÓN Y REGISTRO DE USUARIO



**Figura 5.1. Interfaz de inicio de sesión y registro. [Elaboración propia]**

En la figura 5.1, permitimos que el usuario pueda iniciar sesión y también registrar nuevos usuarios, con el fin de llevar un control de quien hace uso del sistema y por siguiente relacionar la información calculada hacia un usuario.

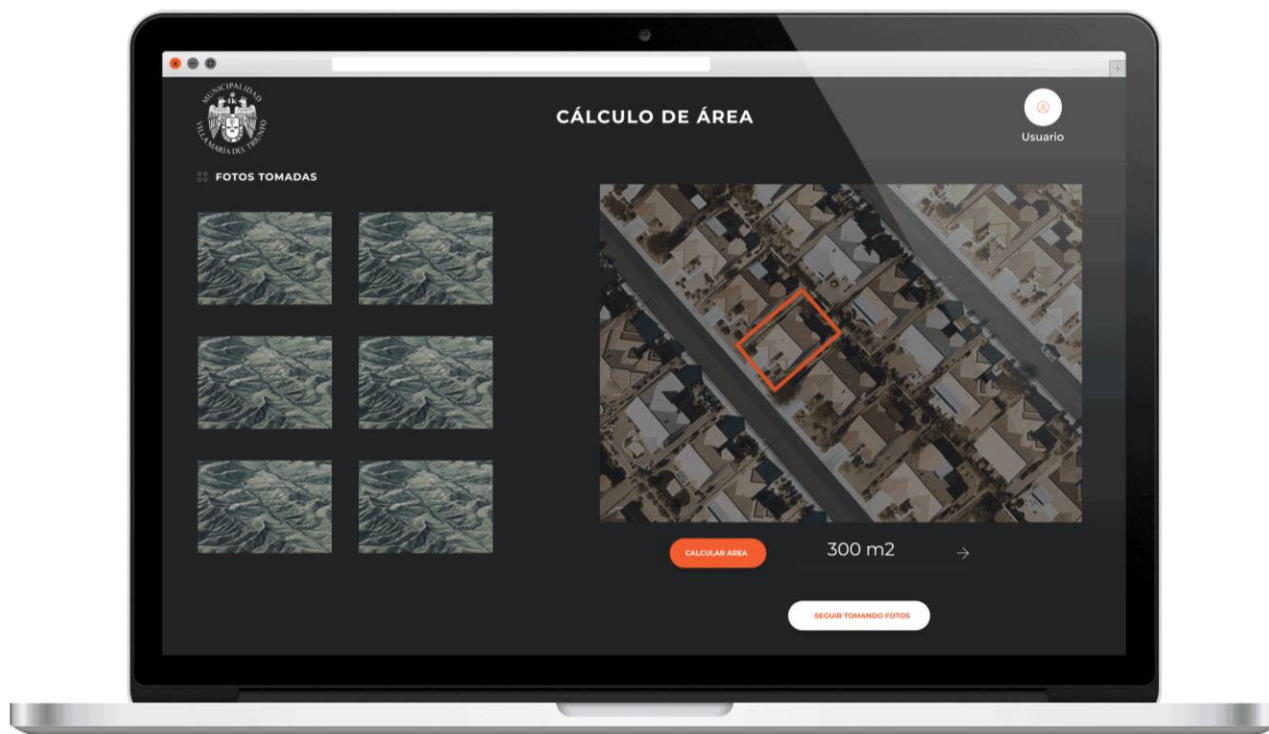
## INTERFAZ DEL VIDEO STREAMING Y FOTOS TOMADAS



**Figura 5.2. Interfaz de capturar imágenes. [Elaboración propia]**

En la figura 5.2, mostramos las imágenes que el dron captura, estas imágenes se verán como un video Streaming. A su vez, incluimos un botón que permita tomar fotos en tiempo real. Con el fin de que a partir de estas fotos pueda obtener el área que desee calcular.

## INTERFAZ DE CÁLCULO DE AREA EN UNA FOTO



**Figura 5.3. Interfaz de cálculo de área. [Elaboración propia]**

En la figura 5.3, le mostramos las imágenes tomadas, y al lado derecho la opción de seleccionar puntos, para luego calcular el área correspondiente a la figura que encierra esos puntos.

## 5.2 Calibración

Se realizan 3 vuelos sobre un tablero negro de 3.3489 metros cuadrados para obtener la cantidad de pixeles del tablero captados por la cámara a diferentes alturas. En dron se posiciona sobre el tablero cuadrado y utilizando la biblioteca OpenCV se detecta el tablero obteniendo la cantidad de pixeles que posee en cierta altura, teniendo más de 3000 datos.

Nº	Cantidad de pixeles del Cuadrado	Altura de vuelo(metros)	Metro cuadrado por cada pixel
<b>1</b>	123495	2.557	2.71E-05
<b>2</b>	124340	2.658	2.69E-05
<b>3</b>	122692.5	2.6874	2.73E-05
<b>4</b>	118337	2.695	2.83E-05
<b>5</b>	118073	2.75775	2.84E-05
<b>6</b>	94297.5	3.1385	3.55E-05
<b>7</b>	70754	3.597	4.73E-05
...	...	...	...
<b>3304</b>	636.5	33.1725	0.005261
<b>3305</b>	637	33.185	0.005257
<b>3306</b>	649.5	33.237	0.005156
<b>3307</b>	649.5	33.3462	0.005156

**Tabla 5.1. Relación de altura de vuelo con la cantidad de pixeles. [Elaboración Propia]**

### 5.2.1 Regresión

El análisis de la regresión es un proceso estadístico para estimar las relaciones entre variables. Una de las herramientas más usadas para la regresión es Matlab teniendo diversos modelos de regresión como Fourier, Gaussians, Weibull, Exponencial, entre otros [Matlab software, 2017]. Permite encontrar funciones es base a un conjunto de variables, es donde ingresando los 3307 datos se obtuvo las siguientes fórmulas.

**Siendo:**

$x = \text{Altura de vuelo en metros.}$

$f(x) = m t^2 \text{ por cada pixel}$

A. Modelo Exponencial:

$$f(x) = a \cdot \exp(b \cdot x) + c \cdot \exp(d \cdot x)$$

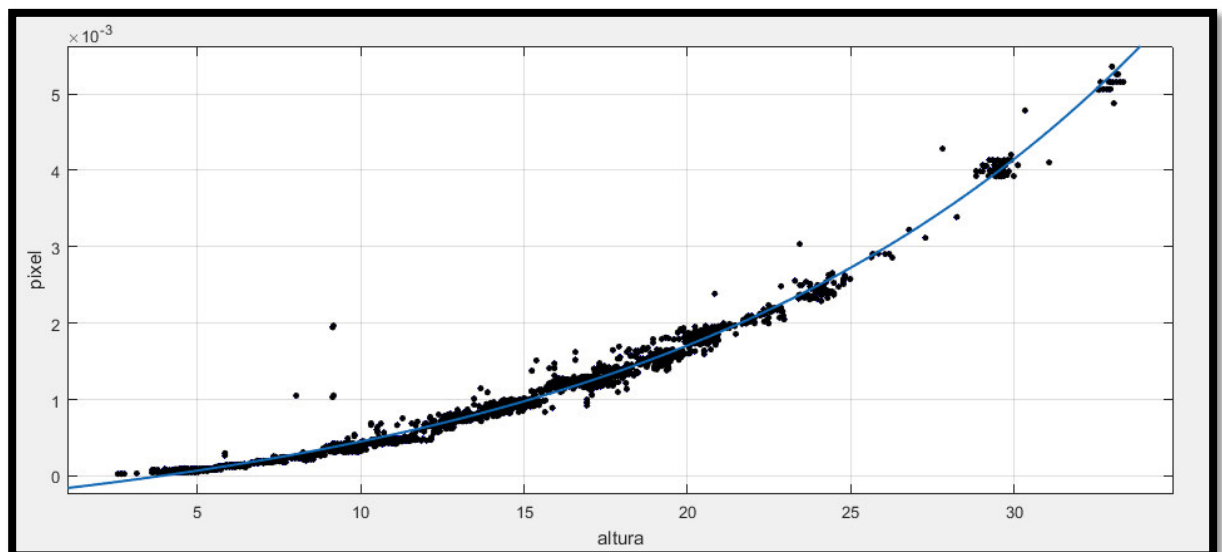
$$a = 0.0006354$$

$$b = 0.0679$$

$$c = -0.0008421$$

$$d = -0.005041$$

$$f(x) = 0.0006354 \cdot \exp(0.0679 \cdot x) + (-0.0008421) \cdot \exp((-0.005041) \cdot x)$$



**Figura 5.4. Gráfica del modelo exponencial a partir de los valores de la calibración. [Elaboración propia]**

B. Modelo Fourier 1:

$$f(x) = a_0 + a_1 \cos(x \cdot w) + b_1 \sin(x \cdot w)$$

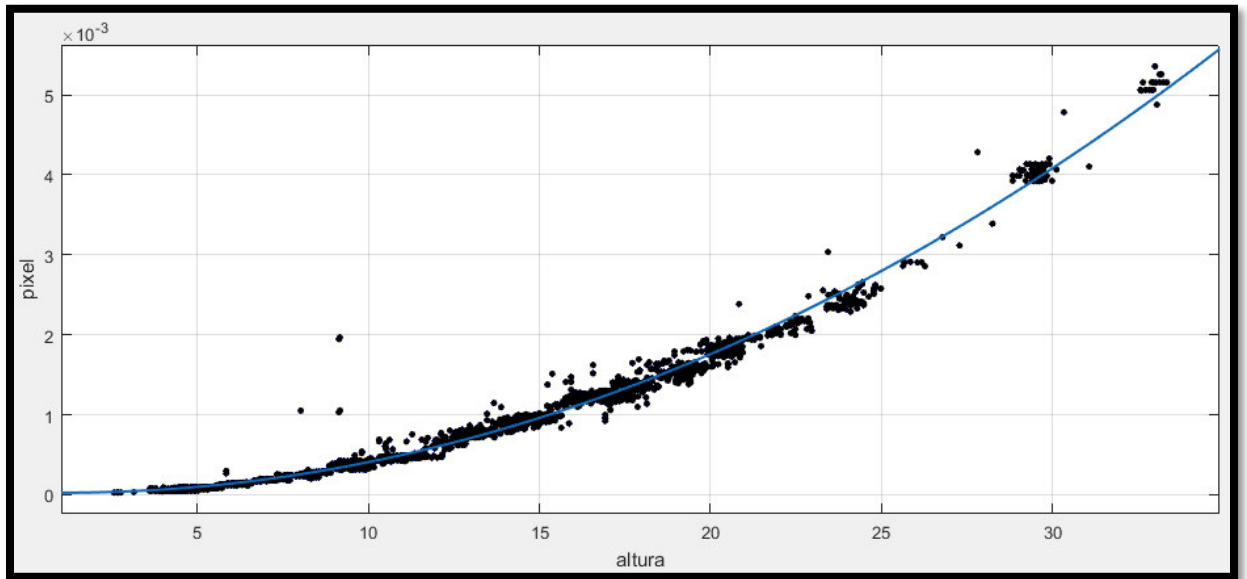
$$a_0 = 190.7$$

$$a_1 = -190.7$$

$$b_1 = -0.04923$$

$$w = 0.000226$$

$$f(x) = 190.7 + (-190.7) \cdot \cos(x \cdot 0.000226) + (-0.04923) \cdot \sin(x \cdot 0.000226)$$



**Figura 5.5. Gráfica del modelo Fourier 1 a partir de los valores de la calibración. [Elaboración propia]**

C. Modelo Fourier 2:

$$f(x) = a_0 + a_1 \cos(x \cdot w) + b_1 \sin(x \cdot w) + a_2 \cos(2 \cdot x \cdot w) + b_2 \sin(2 \cdot x \cdot w)$$

$$a_0 = 0.003476$$

$$a_1 = -0.002814$$

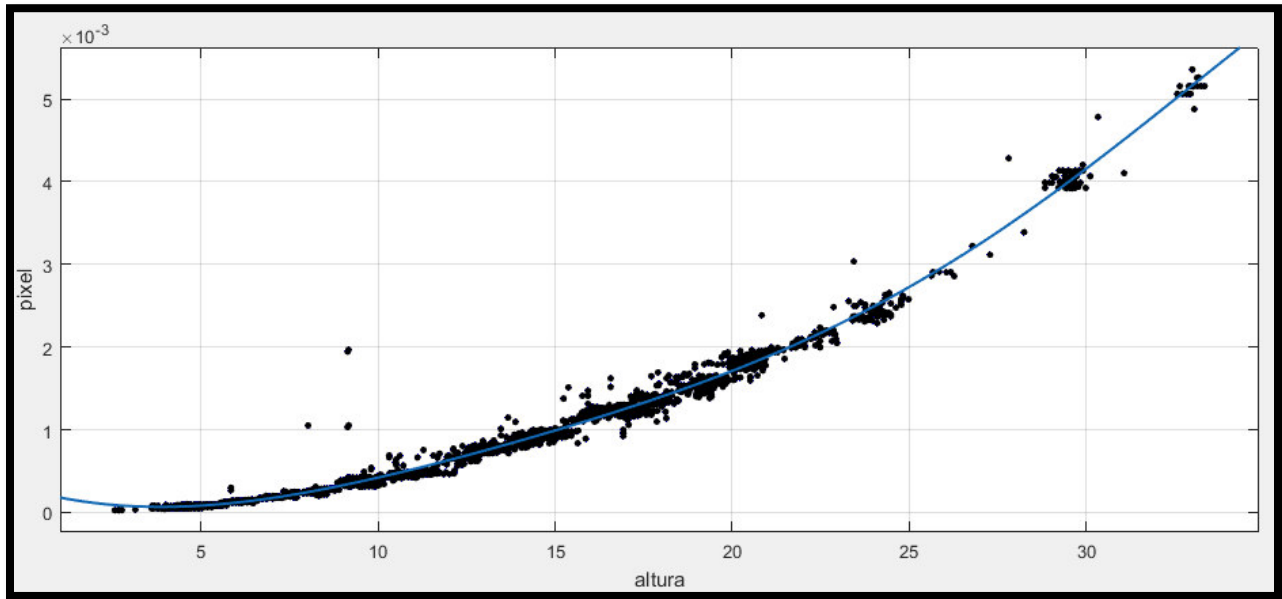
$$b_1 = -0.002514$$

$$a_2 = -0.00038$$

$$b_2 = 0.0006035$$

$$w = 0.08927$$

$$f(x) = 0.003476 + (-0.002814) \cdot \cos(x \cdot 0.08927) + (-0.002514) \cdot \sin(x \cdot 0.08927) + (-0.00038) \cdot \cos(2 \cdot x \cdot 0.08927) + (0.0006035) \cdot \sin(2 \cdot x \cdot 0.08927)$$



**Figura 5.6. Gráfica del modelo Fourier 2 a partir de los valores de la calibración. [Elaboración propia]**

D. Modelo Gauss 1:

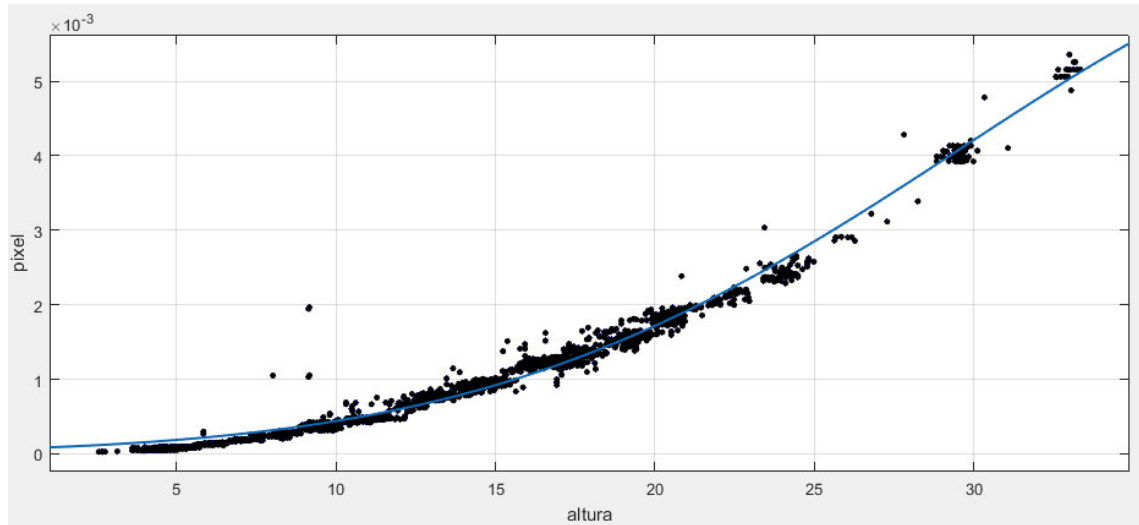
$$f(x) = a1 \cdot \exp(-((x-b1)/c1)^2)$$

$$a1 = 0.006765$$

$$b1 = 44.28$$

$$c1 = 20.74$$

$$f(x) = 0.006765 \cdot \exp(-((x-44.28)/20.74)^2)$$



**Figura 5.7. Gráfica del modelo Gauss 1 a partir de los valores de la calibración. [Elaboración propia]**

E. Modelo Gauss 2:

$$f(x) = a1 \cdot \exp(-((x-b1)/c1)^2) + a2 \cdot \exp(-((x-b2)/c2)^2) + a3 \cdot \exp(-((x-b3)/c3)^2)$$

$$a1 = -0.006869$$

$$c2 = 3.297$$

$$b1 = 31.13$$

$$a3 = 0.01181$$

$$c1 = 10.34$$

$$b3 = 34.44$$

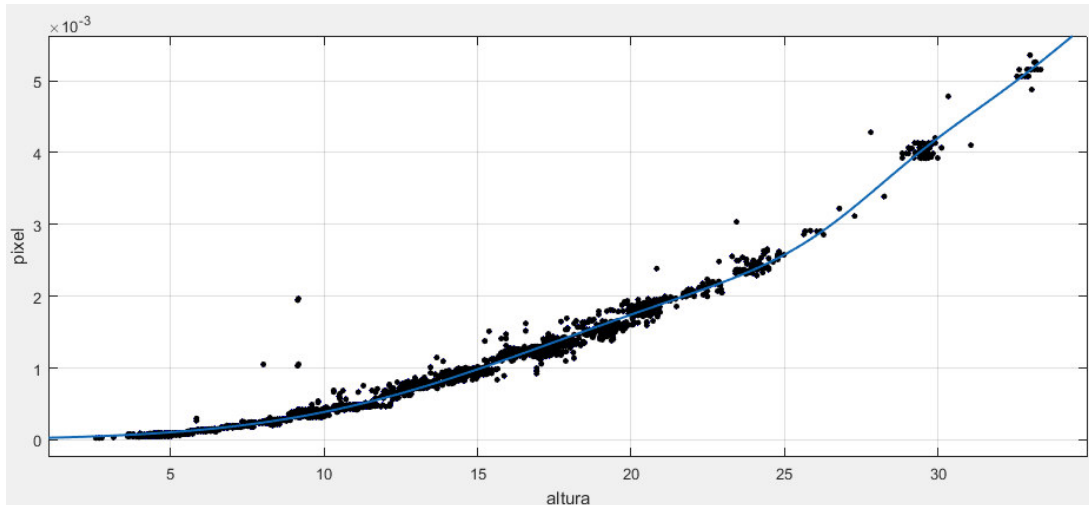
$$a2 = 0.0003658$$

$$c3 = 13.72$$

$$b2 = 29.48$$

$$f(x) = (-0.006869) \cdot \exp(-((x-31.13)/10.34)^2) + 0.0003658 \cdot \exp(-((x-29.48)/3.297)^2) + 0.01181 \cdot \exp(-((x-34.44)/13.72)^2)$$





**Figura 5.8. Gráfica del modelo Gauss 2 a partir de los valores de la calibración. [Elaboración propia]**

F. Modelo Polinomial cuadrática:

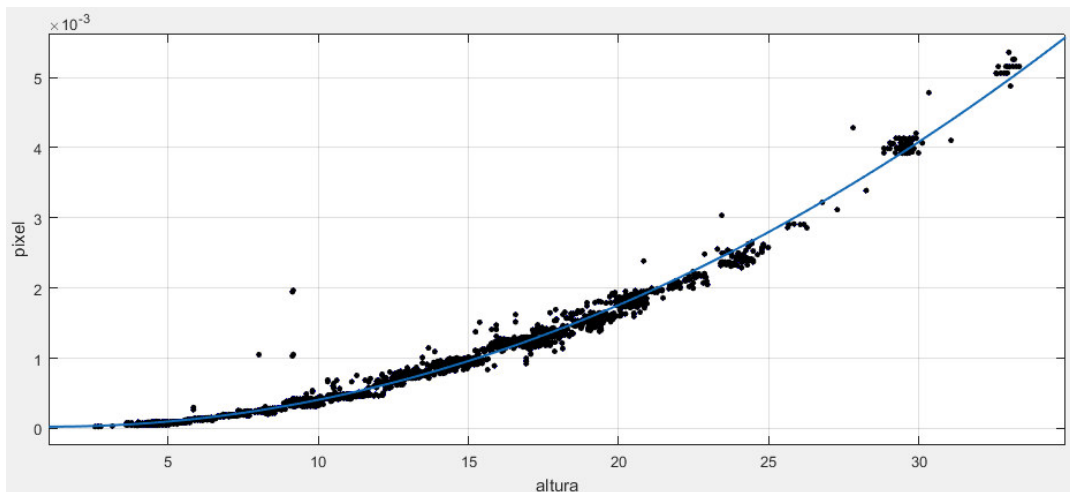
$$f(x) = p1 \cdot x^2 + p2 \cdot x + p3$$

$$p1 = 4.871e-06$$

$$p2 = -1.113e-05$$

$$p3 = 3.299e-05$$

$$f(x) = (4.871e-06) \cdot x^2 + (-1.113e-05) \cdot x + (3.299e-05)$$



**Figura 5.9. Gráfica del modelo Polinomial cuadrático a partir de los valores de la calibración. [Elaboración propia]**

G. Modelo Polinomial cubica:

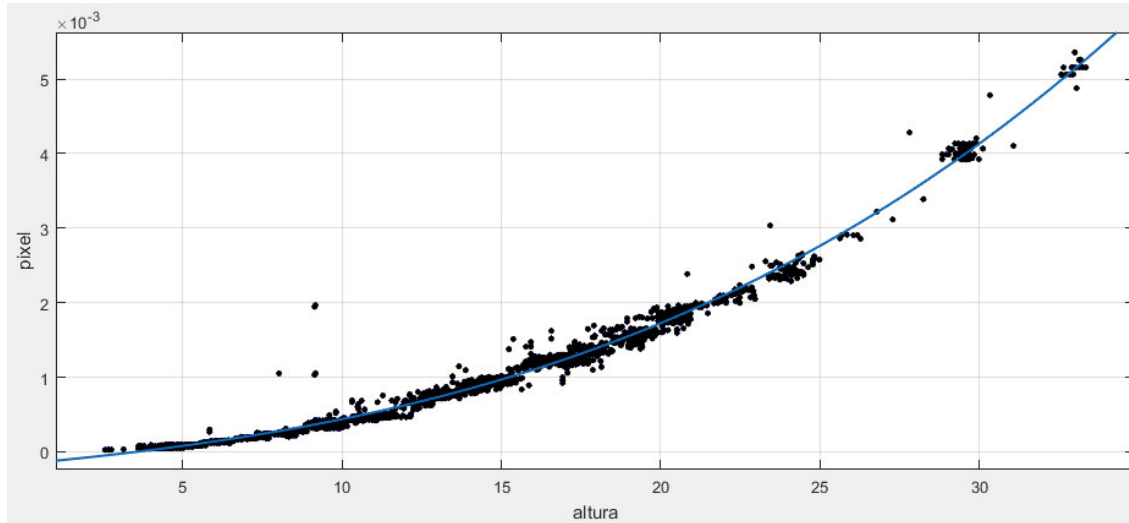
$$f(x) = p1*x^3 + p2*x^2 + p3*x + p4$$

$$p1 = 7.212e-08$$

$$p2 = 1.273e-06$$

$$p3 = 4.006e-05$$

$$p4 = -0.0001607$$



**Figura 5.10. Gráfica del modelo Polinomial cubica a partir de los valores de la calibración. [Elaboración propia]**

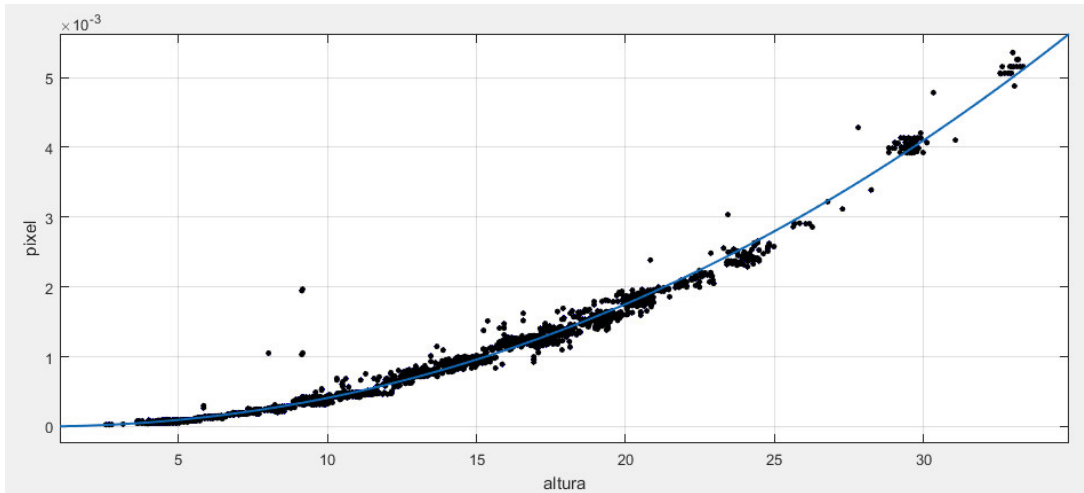
H. Modelo Potencia:

$$f(x) = a*x^b$$

$$a = 3.302e-06$$

$$b = 2.095$$

$$f(x) = (3.302e-06)*x^{(2.095)}$$



**Figura 5.11. Gráfica del modelo Potencia a partir de los valores de la calibración.**  
[Elaboración propia]

I. Modelo Potencia 2:

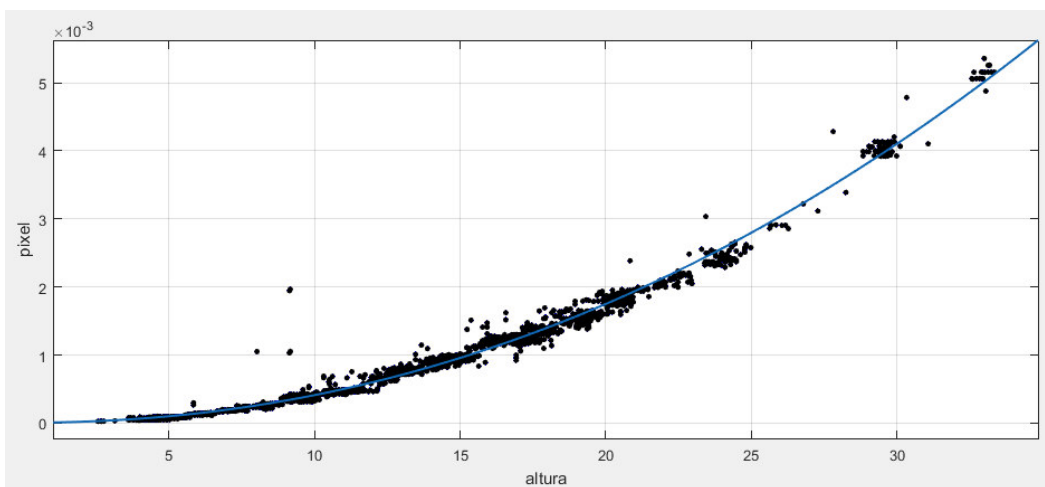
$$f(x) = a \cdot x^b + c$$

$$a = 3.167e-06$$

$$b = 2.107$$

$$c = 7.793e-06$$

$$f(x) = (3.167e-06) \cdot x^{(2.107)} + (7.793e-06)$$



**Figura 5.12. Gráfica del modelo Potencia a partir de los valores de la calibración.**  
[Elaboración propia]

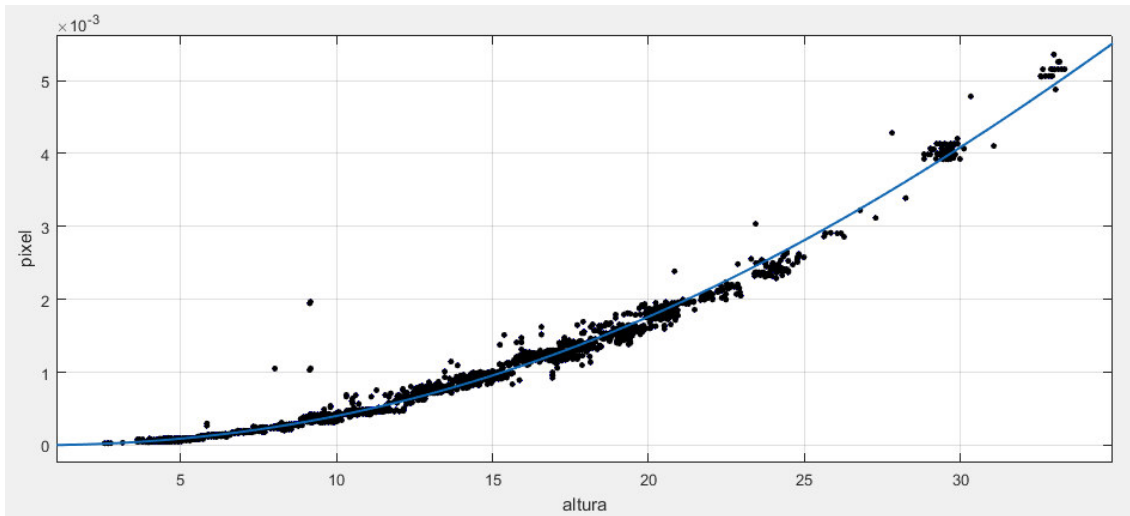
J. Modelo Weibull:

$$f(x) = a*b*x^{(b-1)}*\exp(-a*x^b)$$

$$a = 9.157e-07$$

$$b = 3.146$$

$$f(x) = (9.157e-07)*(3.146)*x^{((3.146)-1)}*\exp(-(9.157e-07)*x^{(3.146)})$$



**Figura 5.13. Gráfica del modelo Weibull a partir de los valores de la calibración.**  
[Elaboración propia]

### 5.2.2 Comparación de métodos de regresión

Se evalúan las 10 formulas con los 3307 datos obtenidos en los 3 vuelos donde se obtuvo el siguiente cuadro.

Nº	Altura de Vuelo(m)	Metro cuadrado por cada pixel	F1(x)	F2(x)	F3(x)	F4(x)	F5(x)	F6(x)	F7(x)	F8(x)	F9(x)	F10(x)
1	2.557	2.71E-05	-7.54E-05	3.39E-06	9.11E-05	0.000118	5.00E-05	3.64E-05	-4.90E-05	2.36E-05	3.07E-05	2.16E-05
2	2.658	2.69E-05	-6.98E-05	4.83E-06	8.77E-05	0.000121	5.17E-05	3.78E-05	-4.40E-05	2.56E-05	3.26E-05	2.35E-05
3	2.6874	2.73E-05	-6.82E-05	5.27E-06	8.67E-05	0.000121	5.22E-05	3.83E-05	-4.20E-05	2.62E-05	3.32E-05	2.40E-05
4	2.695	2.83E-05	-6.77E-05	5.39E-06	8.65E-05	0.000121	5.23E-05	3.84E-05	-4.20E-05	2.64E-05	3.34E-05	2.42E-05
5	2.75775	2.84E-05	-6.42E-05	6.36E-06	8.46E-05	0.000123	5.34E-05	3.93E-05	-3.90E-05	2.77E-05	3.46E-05	2.54E-05
6	3.1385	3.55E-05	-4.26E-05	1.31E-05	7.54E-05	0.000132	6.03E-05	4.60E-05	-2.00E-05	3.63E-05	4.30E-05	3.35E-05
7	3.597	4.73E-05	-1.58E-05	2.30E-05	6.96E-05	0.000144	6.97E-05	5.60E-05	3.22E-06	4.82E-05	5.48E-05	4.49E-05
8	3.597	4.74E-05	-1.58E-05	2.30E-05	6.96E-05	0.000144	6.97E-05	5.60E-05	3.22E-06	4.82E-05	5.48E-05	4.49E-05
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3303	33.12967	0.005257	0.005313	0.004977	0.00521	0.005067	0.005193	0.005011	0.005186	0.005054	0.005063	0.004986
3304	33.1725	0.005261	0.005331	0.00499	0.005225	0.005078	0.005208	0.005024	0.005202	0.005068	0.005077	0.004999
3305	33.185	0.005257	0.005336	0.004994	0.005229	0.005081	0.005212	0.005028	0.005206	0.005072	0.005081	0.005003
3306	33.237	0.005156	0.005357	0.00501	0.005247	0.005095	0.00523	0.005044	0.005225	0.005088	0.005098	0.005018
3307	33.3462	0.005156	0.005403	0.005044	0.005285	0.005124	0.005267	0.005078	0.005265	0.005123	0.005133	0.005051

**Tabla 5.2. Comparación de los métodos de regresión. [Elaboración Propia]**

Se evalúa el porcentaje de error de los valores obtenidos en cada función respecto a cada valor real en metros cuadrados por pixel.

Nº	%ErrorF1(x)	%ErrorF2(x)	%ErrorF3(x)	%ErrorF4(x)	%ErrorF5(x)	%ErrorF6(x)	%ErrorF7(x)	%ErrorF8(x)	%ErrorF9(x)	%ErrorF10(x)
1	3.78198	0.874887	2.358253	3.359371	0.844338	0.3415	2.797264	0.129597	0.131652	0.203398
2	3.592179	0.820513	2.254901	3.475941	0.918948	0.4042	2.628925	0.049552	0.21169	0.128421
3	3.497603	0.806835	2.177493	3.441826	0.911661	0.401652	2.555198	0.040281	0.216976	0.119426
4	3.393906	0.80964	2.056288	3.290445	0.848345	0.355946	2.486971	0.068858	0.179135	0.145523
5	3.26444	0.775929	1.982427	3.333089	0.882053	0.387059	2.37611	0.025037	0.221314	0.104261
6	2.198555	0.632472	1.123348	2.723273	0.69832	0.296347	1.568866	0.020958	0.212183	0.055806
7	1.333549	0.514254	0.469564	2.048273	0.472501	0.182685	0.931909	0.019345	0.157451	0.050737
8	1.332936	0.515146	0.466863	2.042673	0.469795	0.180512	0.932034	0.017472	0.155324	0.052481
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3303	0.010583	0.053378	0.008912	0.036223	0.012166	0.046936	0.013536	0.038678	0.036944	0.05152
3304	0.013155	0.051583	0.006899	0.034843	0.010183	0.045145	0.011362	0.036828	0.03508	0.049848
3305	0.014935	0.050096	0.005304	0.033461	0.008599	0.043653	0.009723	0.035311	0.033557	0.048395
3306	0.039037	0.028306	0.017671	0.011854	0.014284	0.021736	0.013373	0.013149	0.011341	0.026724
3307	0.047874	0.021674	0.024927	0.006325	0.021518	0.015103	0.021095	0.006344	0.004495	0.020419

**Tabla 5.3. Comparación del porcentaje de error de los métodos. [Elaboración Propia]**

### 5.2.3 Resultado de la comparación

Se realiza un promedio del porcentaje de error en cada función con respecto a los 3307 valores.

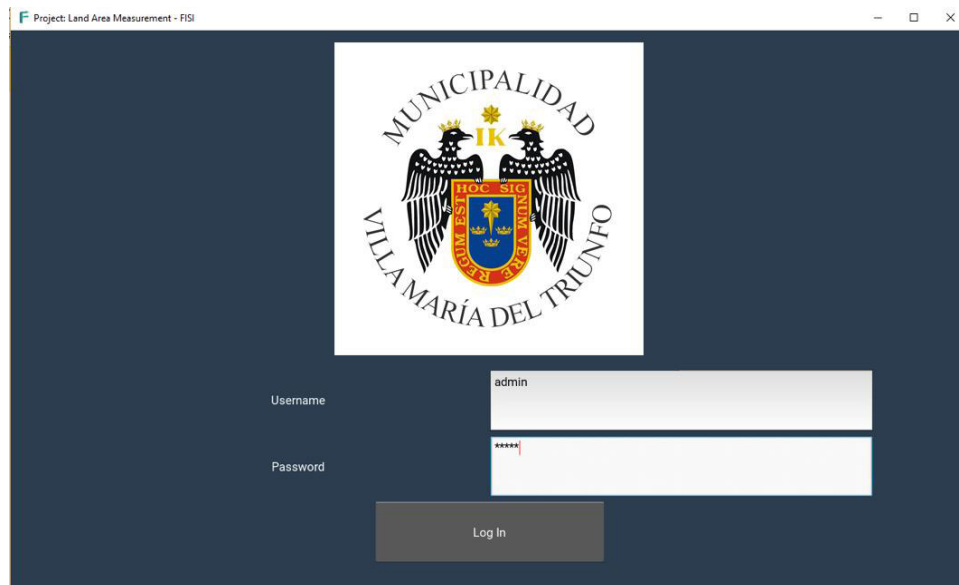
%ErrorPromF(x)	Valor
F1(x)	0.131604855
F2(x)	0.109774639
F3(x)	0.087101221
F4(x)	0.364956717
F5(x)	0.11410279
F6(x)	0.098904161
F7(x)	0.10892446
F8(x)	0.093225692
F9(x)	0.104804549
F10(x)	0.086000075

**Tabla 5.4. Resultados del promedio de porcentaje de error por cada función. [Elaboración Propia]**

La función 10 o función Weibull es la que posee menor porcentaje de error respecto a las demás teniendo un 8.6% de error. Por tal razón se selecciona para el desarrollo del experimento.

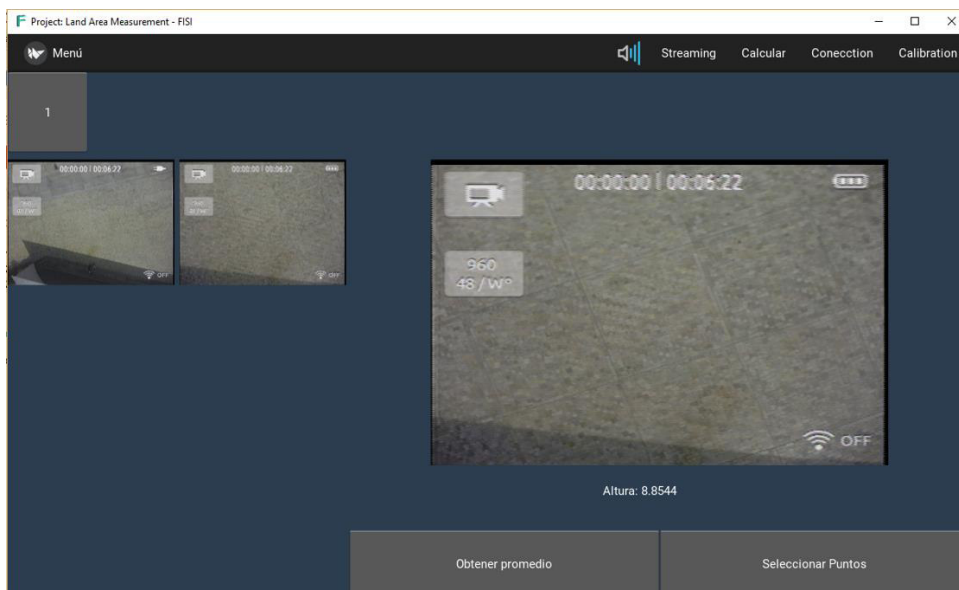
### 5.3 Validación

Se ingresa al sistema con un usuario y contraseña. Las pruebas fueron realizadas en la plaza del rectorado de la UNMSM por contar con un piso adecuado para realizar las pruebas ya que cuenta con diversas zonas cuadradas equivalentes.



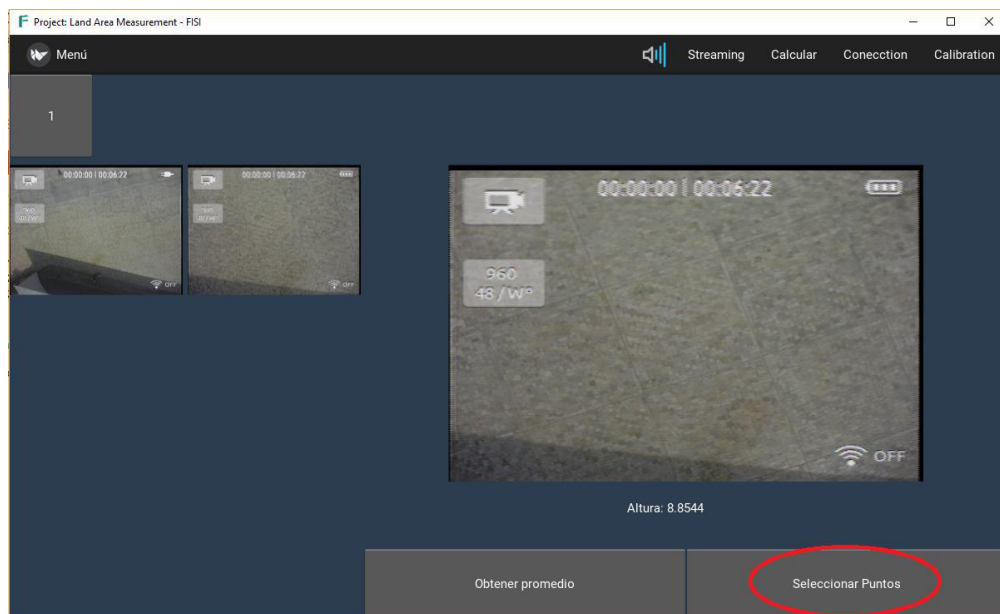
**Figura 5.14. Login UI del software LAM. [Elaboración propia]**

Luego, se ingresa al módulo "Calcular" y se selecciona la primera fotografía obtenida que posee una altura de vuelo de 8.8544 metros respecto al suelo.



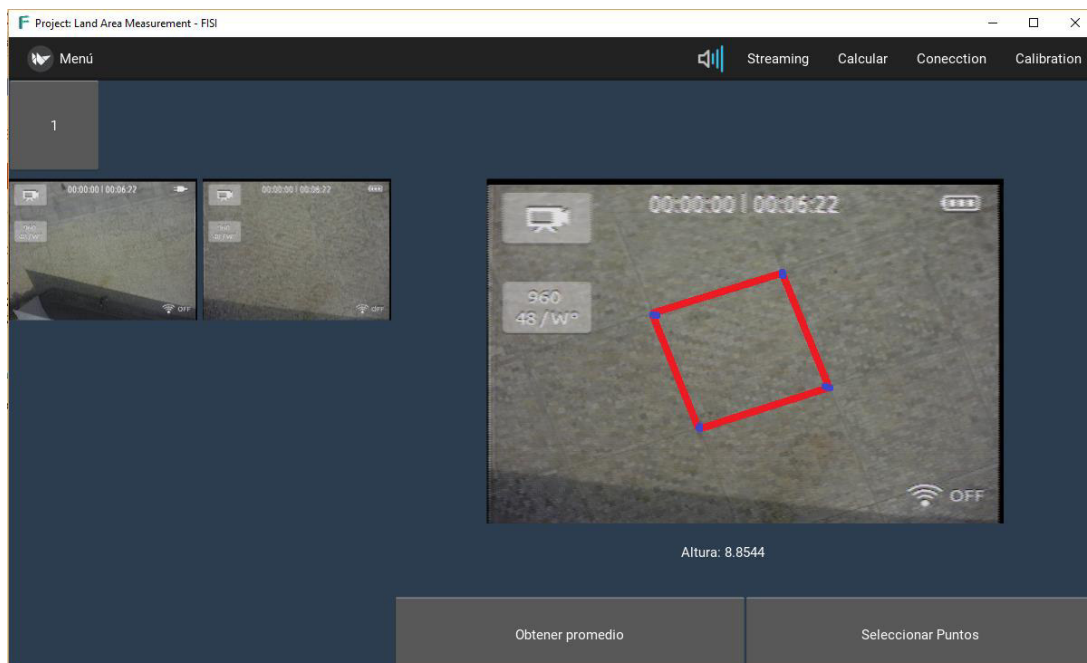
**Figura 5.15. Calcular UI del software LAM. [Elaboración propia]**

Se escoge el botón "Seleccionar puntos", donde el usuario del sistema indica en la fotografía cuales son los vértices de la imagen a medir.



**Figura 5.16. Botón de Seleccionar Puntos del software LAM. [Elaboración propia]**

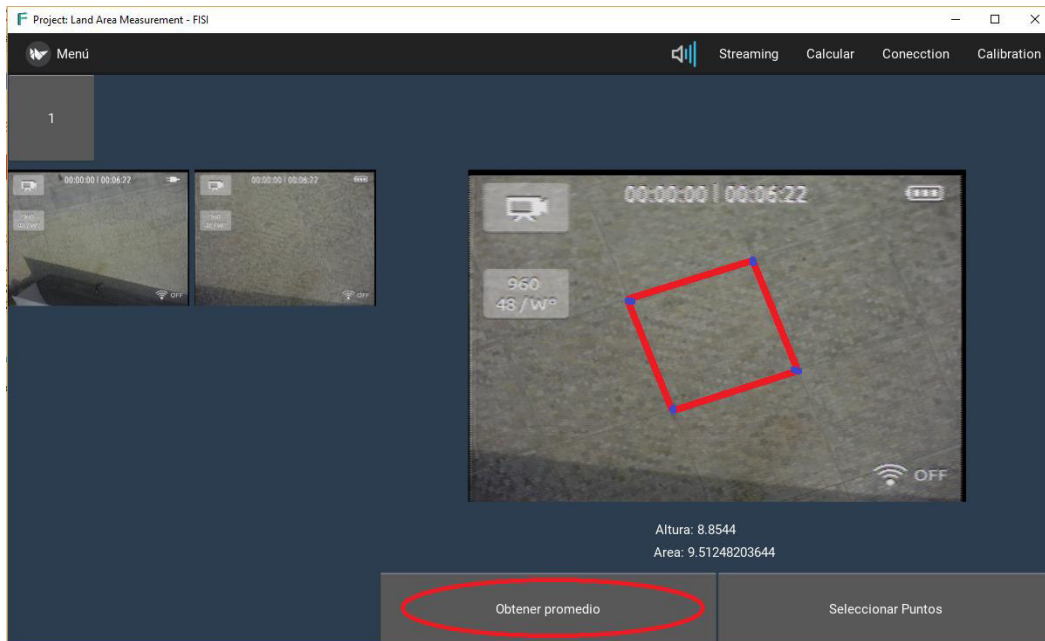
Una vez ya seleccionado los puntos se grafican de color azul y el área perímetro de color rojo.



**Figura 5.17. Gráfica del cuadrado resultante de los puntos seleccionados. [Elaboración propia]**



Se selecciona el botón "Obtener Promedio" y el sistema obtiene el área en metros cuadrados.



**Figura 5.18. Acción del botón de "Obtener promedio" a una altura de 8.8 metros aprox. [Elaboración propia]**

*Hight(m): 8.8544*

*Área en Pixeles: 30659.0*

*Un pixel es 0.000310267198423*

*Área: 9.51248203644 m<sup>2</sup>*

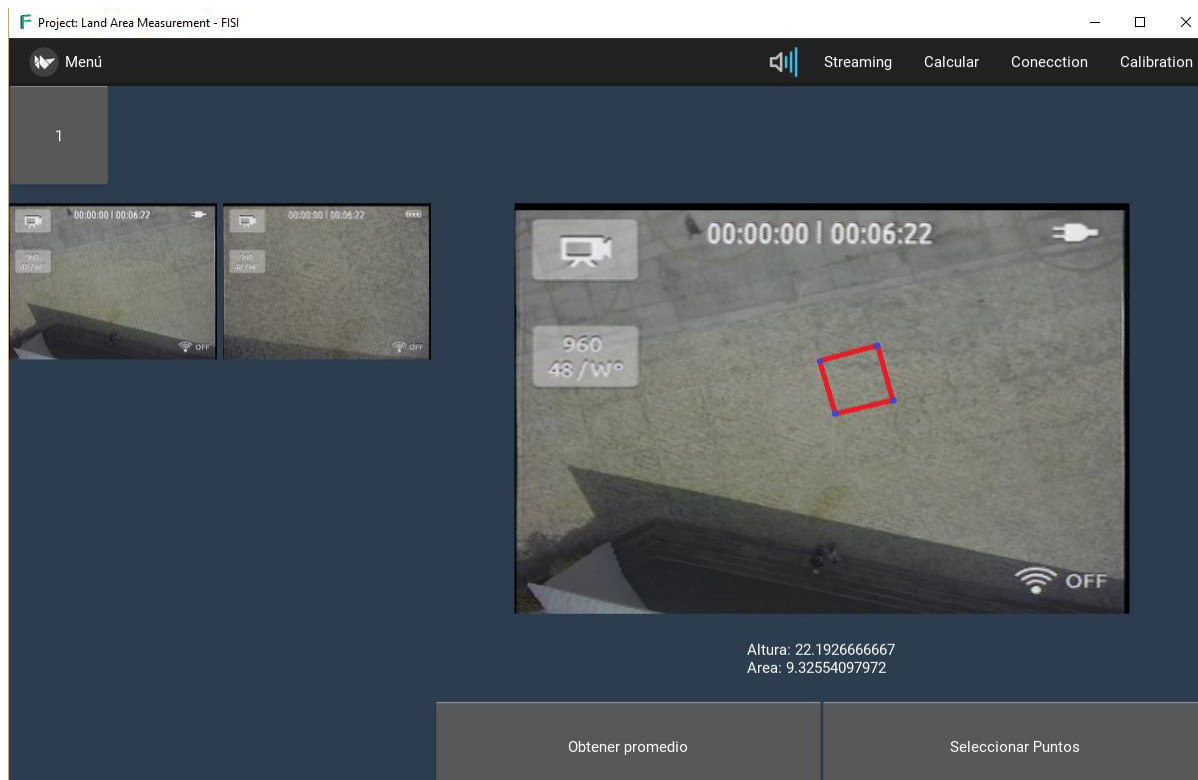
En la segunda foto se realiza nuevamente los pasos anteriores, obteniendo los siguientes resultados:

Hight(m): 22.1926666667

Área en Pixeles 4246.5

Un pixel es 0.00219605345101

Área: 9.32554097972



**Figura 5.19. Acción del botón de “Obtener promedio” a una altura de 22 metros aprox. [Elaboración propia]**

Los lados del área a medir son de 3.06 metros con lo que tiene un área de 9.3636 metros cuadrados.

**La Figura 5.18:**

Área: 9.51248203644

Error: 0.14888203644

mt2 = 1.590008505702935 %

**La Figura 5.19:**

Área: 9.32554097972

Error: 0.03805902028

mt2 = 0.4064571348626597 %

#### 5.4 Validación económica

<b>COTIZACION DE RECURSOS PARA LA SOLUCION PROPUESTA</b>	<b>MONTO</b>
Cámara Go Pro 3	S/.800,00
Drone Dji 550	S/.2000,00
Arduino Nano	S/.72,00
Laptop	S/.1.800,00
Sistema de video FPV	S/.180.00
Easy Cap	S/.60,00
02 módulos RF	S/.10,00
Shield USB	S/.10,00
Barómetro	S/.20,00
Gimbal	S/.387,00
Servicio de programación (2 desarrolladores)	s/. 2200,00
<b>Costo Total</b>	<b>S/.7.539,00</b>

## **Capítulo 6: Conclusiones, trabajos futuros y recomendaciones**

### **6.1 Conclusiones**

Luego de describir el aporte práctico del proyecto de tesis, se presenta las conclusiones obtenidas por los autores. Se afirma lo siguiente:

- Se ha podido determinar que el área predial es un dato recurrente para diferentes procesos necesarios en el catastro.
- Se determinó que el método de tratamiento de imágenes presenta mayor ventaja respecto al método usando GPS e imágenes satelitales en caso de realizar mediciones de áreas de predios(pequeñas).
- Se ha podido concluir que existe una relación de pixeles de una imagen y los metros cuadrados que representan los pixeles a través de procesamiento de imágenes; ayudando a calcular un área específica en metros cuadrados dentro de una imagen, a través de un algoritmo implantado en la solución tecnológica.
- Se concluye que un modelo de comunicación de entre la cámara ubicada en el dron y una laptop más óptimo para el proyecto es por medio de ondas de radio (FPV).
- Se ha podido concluir que la comunicación de datos obtenidos por el Arduino ubicado en el dron con la laptop más óptimo para el proyecto es utilizando ondas de radio con módulos RF.
- Las comunicaciones de datos que hay por ondas de radio entre el dron, módulos RF, sistema FPV deben ser configuradas en diferentes frecuencias para que no interfieran los canales de comunicación existentes en la solución tecnológica.
- Matlab permite obtener la relación y comportamiento de datos obtenidos en pruebas de campo en base a fórmulas.
- OpenCV permite realizar tratamiento de imágenes siendo una biblioteca gratuita, multiplataforma y con gran variedad de algoritmos de visión artificial.

## **6.2 Trabajos futuros**

- El siguiente trabajo a realizar es implementar machine learning para la detección automática de predios y superficies de áreas irregulares como lagos, pantanos, chacras, entre otros.
- La posibilidad de compartir los datos en tiempo real para diferentes áreas de catastro a través de la Nube.
- Poder implementar nuestro algoritmo de la solución tecnológica como una web service para que pueda ser consumido por cualquier cliente.

## **6.3 Recomendaciones**

- Recomendamos profundizar el uso de tratamiento de imágenes con OpenCV en la currícula de la Facultad de Ingeniería de Sistemas.
- Profundizar en trabajos basados en internet de las cosas por ser una tendencia tecnológica y presenta un gran potencial para el mercado.
- Desarrollar proyectos conjuntamente con estudiantes de electrónica y generar una mejor comprensión de hardware y software sobre todo en el tema de comunicaciones.
- Profundizar es uso de lenguaje de programación Python por ser ligero y potente en casi cualquier proyecto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Mark A. Fonstad et al., 2013] Mark A. Fonstad, James T. Dietrich, Brittany C. Courville, Jennifer L. Jensen and Patrice E. Carbonneau. Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. *Earth Surf. Process. Landforms* 38 (2013).
- [N. Rincón et al., 2012] N. Rincón, M. Olarte y J. Pérez. Determinación del área foliar en fotografías tomadas con una cámara web, un teléfono celular o con una cámara semi profesional. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 65 (2012).
- [A. Chang et al., 2011] A. Chang, B. Dearman y J. Greenwood. A comparison of wound area measurement techniques: Visitrak versus Photography. *Eplasty* 11 (2011).
- [William R. Pierson et al., 1960] William R. Pierson. Photogrammetric determination of surface area. Presentado en el Society's 26th Annual Meeting, Hotel Shoreham, Washington, D. C. marzo 23- 26, 1960.
- [J. Gonzales, 2011] J. Gonzales. Nuevas técnicas para sensores radar embarcados en vehiculos aereos no tripulados. Universidad Politécnica de Madrid. Tesis Doctoral (2009). Madrid - España.
- [L. Bendayan, 2011] L. Bendayan. Sistema de adquisición remota de imágenes, Instituto de investigación de la amazonia peruana. Pre Grado Tesis (2011). Iquitos - Perú. [6]
- [Santana J. Camargo, 2011] Santana J. Camargo. Estudio y diseño de metodología con técnicas GPS para la actualización de la cartografía catastral del municipio palavecino (Venezuela). Tesis Doctoral (2011). Valencia - España.
- [J. Villareal, 2015] J. Villareal. Analisis de la precision de levantamientos topograficos mediante el empleo de vehiculos no tripulados (UAV) respecto a la densidad de puntos de control. Pre grado Tesis. (2015). Loja – Ecuador.
- [B. Zein, 2013] B. Zein. Photogrammetric determination of body length and body mass in Galápagos sea lions. Master Thesis (2013). Bielefeld - Germany.
- [C. Diaz, 2013] C. Diaz, Adquisición de imágenes de bajo costo aplicadas a la agricultura de precisión usando vehículos aéreos no tripulados. Tesis de Grado (2013). Villavicencio – Meta – Colombia.

- [J. Redolfi et al., 2011] Javier A. Redolfi y Agustin Henze. Quadricóptero autónomo de arquitectura abierta, QA3. Tesis de Grado (2011). Argentina
- [Arduino Ofic. Int., 2017] Página oficial de arduino. Guia Introductoria (11/07/17) . Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.
- [Arduino Ofic. Abo., 2017] Página oficial de arduino. Acerca Arduino (11/07/17). Disponible en : <https://www.arduino.cc/en/Main/AboutUs>.
- [Arduino Ofic. Hardware, 2017] Página oficial de arduino. Productos (11/07/17). Disponible en : <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>.
- [Arduino Ofic. Arduino Uno, 2017] Página oficial de arduino. Arduino Uno (11/07/17). Disponible en : <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>.
- [Arduino Ofic. Software, 2017] Página oficial de arduino. Software (11/07/17). Disponible en : <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>.
- [GoPro Hero3, 2017] Página Oficial de Go Pro. Productos (20/08/17). Disponible en : <https://www.gopro.com>.
- [VideoCapture, 2017] Página Oficial de la librería VideoCapture (20/08/17). Disponible en : <http://videocapture.sourceforge.net>.
- [Kivy, 2017] Página Oficial de la librería Kivy (20/08/17). Disponible en : <https://kivy.org>.
- [N. Hernández, 2004] Nelson Hernández. Fundamento de procesamiento digital de imágenes. Revista de tecnologia Universidad del Bosque 3 (2004).
- [A. Gonzáles et al., 2006] A. Gonzáles, F. Martinez, A. Pernia, F. Alba, M. Castejon, J. Mere, E. Vergara. Tecnicas y algoritmos basicos de vision artificial. Servicio de Publicaciones (2006). Rioja – España.
- [J. Esqueda, 2002] José J. Esqueda. Fundamentos de procesamiento de imágenes. CONATEC 2002. California – Estados Unidos.
- [V. M. Arévalo et al., 2004] V. M. Arévalo, J. González, G. Ambrosio. La Librería de la Visión Artificial OPENCV - Aplicación a la Docencia e Investigación. Base Informatica 40 (2004).
- [G. Bradski et al., 2008] Gary Bradski y Adrian Kaehler. Learning OpenCV. O' Reilly Media, Inc. (2008). California – Estados Unidos.

- [D. De Agostini et al., 1978] Daniel De Agostini y Julio A. Murillo. Introducción a la fotogrametría. Bogota: Ministerio de obras públicas (1978). Bogota – Colombia.
- [J. Peña et al., 2011] Jacinto S. Peña y Teofilo S. Mendez. Fundamentos de la fotogrametría. Universidad de la Rioja, servicio de publicaciones (2011). La Rioja – España.
- [A. López, 2014] Alberto López de la Sierra. Planificación de vuelos fotogrametricos para U.A.V. sobre cliente QGIS. Tesis de Maestria (2014). Oviedo – España.
- [Y. Bedoya et al., 2013] Yeferson Bedoya Giraldo, Cristian Felipe Salazar Giraldo, Jhon Fredy Muñoz Lozano. Implementación, control y monitoreo de un sistema de seguridad vehicular por redes GSM/GPRS. Universidad tecnológica de Pereira. Tesis de Grado (2013). Pereira - Colombia.
- [M. Wade, 2014] Mark Wade. Photogrammetric analysis: unmanned aerial vehicles & global positioning. University of Newcastle. Thesis (2014). Newcastle – England.
- [V. Tournadre et al., 2014] V. Tournadre, M. Pierrot-Deseilligny y P. H. Faure. UAV photogrammetry to monitor dykes – calibration and comparison to terrestrial LIDAR. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL-3/W1 (2014). Castelldefels – Spain.
- [P. López, 2014] Pedro Celestino López Jiménez. Desarrollo de un dispositivo de telemetría y geolocalización basado en la plataforma Arduino y Shield 3G+GPS. Universidad Politécnica de Cartagena. Tesis de Grado (2014). Cartagena – Colombia.
- [J. Herrera et al., 2014] Jean Herrera, Mauricio Barrios Y Saúl Pérz. Diseño e implementación de un sistema SCADA inalámbrico mediante la tecnología zigbee y arduino. Prospect 12 (2014).
- [L. Bendayan, 2011] León Arturo Bendayán Acosta. Sistema de adquisición remota de imágenes, Instituto de investigación de la amazonia peruana. Instituto de investigaciones de la amazonía peruana. Tesis Pre Grado (2011). Iquitos – Perú.
- [C. Braulio, 2005] Ciro Israel Braulio Vite. Principios básicos de la fotogrametría actual. Instituto Politécnico Nacional. Tesis de Grado (2005). Ciudad de Mexico – Mexico.



- [N. Uke et al., 2013] Nilesh J. Uke y Ravindra C. Thool. Moving Vehicle Detection for Measuring Traffic Count Using OpenCV. Journal of Automation and Control Engineering Vol. 1, Nro.4 (December 2013).
- [H. Naza Drone, 2017] Helipal: new generation heli expert. Consultado el 12/07/17. Disponible en: <http://www.helipal.com/dji-flamewheel-f550-w-naza-v2-gps-drone-rtf.html>
- [Hasanuddin Z. Abidin et al., 2004] Hasanuddin Z. Abidin, H. Andreas, M. Gamal, Surono and M. Hendrasto. On the use of GPS survey method for Studying land displacements on the Landslide Prone Areas. TS16 Deformation Measurements and Analysis I (Mayo 2004).
- [Gero Carleto et al., 2016] Gero Carletto, Sydney Gourlay, Siobhan Murray, and Alberto Zezza. Land Area Measurement in Household Surveys. LSMS Guide Book (Julio 2016)
- [Muwanga et al., 2005] E.S.K. Muwanga-Zake and J.B. Magezi-Apuuli. Experience with GPS Equipment in Measuring Crop areas: The Case of Uganda. African Development Bank (enero 2005).
- [Xinjian Xiang et al., 2007] Xinjian Xiang, Chunting Yang. Design Of Portable Instrument For Measuring Agriculture Field Size Based On Gps. Computer and Computing Technologies in Agriculture, Vol. 2 (agosto 2007).
- [Garmin, 2017] Página oficial de la empresa Garmin (20/08/17). Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.
- [Garmin GPSMAP, 2007] Página oficial de la empresa Garmin. Producto GPSMAP (20/08/17). Disponible en: <https://buy.garmin.com/en-US/US/p/140024>.
- [Garmin ETREX, 2007] Página oficial de la empresa Garmin. Producto ETREX (20/08/17). Disponible en: <https://buy.garmin.com/en-US/US/p/518048>.
- [Josef Cihlar, 1988] Josef Cihlar. Area Measurement Of Agricultural Fields From Satellite Images. Canadian Journal of Remote Sensing Vol. 14 . (1988)
- [Alexander C. Vibrans et al., 2013] Alexander C. Vibrans, Ronald E. McRoberts, Paolo Moser, Adilson L. Nicoletti. Using satellite image-based maps and ground inventory data to estimate the area of the remaining Atlantic forest in the Brazilian state of Santa Catarina. Remote Sensing of Environment Vol. 130 (2013).

[Baisong Chen et al., 2011] Baisong Chen, Zhuo Fu, Yuchun Pan, Jihua Wang, and Zhixuan Zeng. Single Leaf Area Measurement Using Digital Camera Image. International Federation for Information Processing (2011).

[Georgi Kostadinov et al., 2014] Georgi Kostadinov and Milena Moteva. Errors of Leaf Area Measurements Using Digital Camera and Scanner. Journal of Agricultural Machinery Science Vol. 10 (2014).

[Matlab Software, 2017] Página oficial de Matlab software (25/09/17). Disponible en : <https://www.mathworks.com/products/curvefitting/features.html#regression>